

Aus der Abteilung für zahnärztliche Prothetik,  
Altersmedizin und Funktionslehre  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

**DISSERTATION**

**Vergleich verschiedener Methoden zur  
Kieferrelationsbestimmung mithilfe des IPR-Systems**

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

von  
Antje Zorn  
aus Eisenhüttenstadt

Datum der Promotion: 11.12.2015

**Diese Arbeit ist meiner lieben Mutter Karin Müller  
und meinem geliebten verstorbenen Vater Manfred Paul-Müller  
in tiefer Zuneigung und Dankbarkeit gewidmet.**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>8</b>
1.1 Okklusion.....	9
1.2 Geschichtlicher Überblick über die Position des Kondylus/der Kieferrelation.....	10
1.3 Verfahren der Kieferrelationsbestimmung/Methoden .....	15
1.3.1 Schädelbezügliche Zuordnung des Oberkiefers.....	16
1.3.2 Vertikale Zuordnung.....	17
1.3.3 Horizontale Zuordnung.....	18
<b>2 Ziel der Untersuchung .....</b>	<b>24</b>
<b>3 Material und Methode .....</b>	<b>26</b>
3.1 Studiendesign.....	26
3.2 Untersuchungsgruppe .....	26
3.3 Klinische Funktionsanalyse .....	27
3.3.1 Klinische Untersuchung.....	27
3.3.2 Anamnese.....	28
3.4 Diagnosegruppen .....	30
3.5 Versuchsdurchführung.....	32
3.5.1 Durchführung der Vorbereitung .....	32
3.5.2 Durchführung der intraoralen Stützstiftregistrierung mit dem IPR-System .....	34
3.6 Statistische Methodik.....	46
<b>4 Ergebnisse .....</b>	<b>48</b>
4.1 Methodenabhängigkeit .....	48
4.1.1 Vergleich von Adduktionspunkt 1 versus Adduktionspunkt 2 .....	48
4.1.2 Vergleich von Adduktionspunkt 1 und 2 versus Zentrikbissnahmen .....	49
4.2 Patientenabhängigkeit.....	52
4.3 Behandlerabhängigkeit .....	55
4.4 Streuung.....	55
4.5 Pfeilwinkel.....	57
4.6 Seitenabweichung der einzelnen Kieferrelationsmethoden.....	59
4.7 Sagittaler Vergleich der Kieferrelationsmethoden .....	60

---

<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>61</b>
5.1	Methodenkritik .....	61
5.1.1	Zur Bissperrung.....	63
5.1.2	Zur Frage der Messgenauigkeit des elektronischen Registriersystems .....	63
5.1.3	Zum Einfluss der aufgewendeten Kraft .....	64
5.1.4	Zum Einfluss der Körperhaltung und Kopflage.....	65
5.2	Zum Adduktionspunkt 1/habituelle Unterkieferposition.....	67
5.3	Zum Einfluss der neuromuskulären Deprogrammierung/ Adduktionspunkt 2 .....	71
5.4	Zur Streuung .....	72
5.5	Zur Reproduzierbarkeit.....	73
5.6	Zur Verschlüsselung .....	75
5.7	Zur Behandlerabhängigkeit .....	76
5.8	Zu funktionskranken Patienten .....	78
5.9	Zur Okklusopathie im Speziellen .....	80
5.10	Die „richtige“ Lage des Unterkiefers zum Oberkiefer .....	81
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>83</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>85</b>
<b>8</b>	<b>Summary .....</b>	<b>87</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>89</b>
	<b>Eidesstattliche Versicherung .....</b>	<b>99</b>
	<b>Danksagung.....</b>	<b>101</b>
	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>102</b>
	<b>Publikation .....</b>	<b>103</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau des Messsystems .....	35
Abbildung 2: links: Schreibstift, rechts: Sensorplatte .....	35
Abbildung 3: links: Oberkieferregistrierschablone mit Schreibstift, rechts: Unterkieferregistrierschablone mit Sensorplatte und Flachbandkabel.....	36
Abbildung 4: Patient auf OrthoS®-Stuhl positioniert .....	37
Abbildung 5: Frontansicht eines Patienten mit seitlichen Kopfstützen .....	37
Abbildung 6: Messtisch mit Patientenmonitor zur visuellen Unterstützung des Patienten, Messverstärker für die Weiterverarbeitung und Laptop zur Speicherung der Messdaten .....	38
Abbildung 7: Oberkiefer mit Registrierschablone und Schreibstift.....	39
Abbildung 8: Unterkiefer mit Registrierschablone und Sensorplatte .....	39
Abbildung 9: Registrierschablonen im Patientenmund mit minimaler Bissperung ohne Beschädigung des Flachbandkabels .....	39
Abbildung 10: Zentrikbissnahme mit manueller Führung des Unterkiefers.....	41
Abbildung 11: Messzyklus: fünf Messungen des Adduktionspunktes 1, rechts oben: Koordinaten der Messpunkte, rechts unten: grüner Balken visualisiert dem Patienten die optimale Kraftaufwendung.....	41
Abbildung 12: Messzyklus: Protrusionsbewegungen .....	42
Abbildung 13: Messzyklus: Laterotrusionsbewegungen .....	42
Abbildung 14: Messzyklus: freie Laterotrusionsbewegungen als muskuläre Deprogrammierung .....	43
Abbildung 15: Messzyklus: fünf Messungen des Adduktionspunktes 2 .....	43
Abbildung 16: Messzyklus: jeweils fünf Messungen der Zentrikbissnahmen eines erfahrenen und eines unerfahrenen Behandlers .....	44
Abbildung 17: Messzyklus: fertige Messung.....	44
Abbildung 18: Patientenbeispiel 1 mit vollständiger Pfeilwinkelaufzeichnung und den einzelnen Methoden der Kieferrelationsbestimmung .....	45
Abbildung 19: Patientenbeispiel 2 mit vollständiger Pfeilwinkelaufzeichnung und den einzelnen Methoden der Kieferrelationsbestimmung .....	46
Abbildung 20: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 1 im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten des Adduktionspunktes 2, ohne signifikante Unterschiede.....	48
Abbildung 21: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 1 im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der manuellen Kieferrelationsbestimmung des unerfahrenen Untersuchers, mit hoch signifikanten Unterschieden der sagittalen Werte.....	49
Abbildung 22: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 1 im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der manuellen Kieferrelationsbestimmung des erfahrenen Untersuchers, mit hoch signifikanten Unterschieden der sagittalen Werte.....	50

Abbildung 23: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 2 im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der manuellen Kieferrelationsbestimmung des unerfahrenen Untersuchers, mit hoch signifikanten Unterschieden der sagittalen Werte.....	50
Abbildung 24: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 2 im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der manuellen Kieferrelationsbestimmung des erfahrenen Untersuchers, mit hoch signifikanten Unterschieden der sagittalen Werte.....	51
Abbildung 25: Patientenbeispiel 1 mit signifikantem Unterschied zwischen Adduktionspunkten (oberer Pfeil) und Zentrikbissnahmen (unterer Pfeil).....	51
Abbildung 26: Patientenbeispiel 2 mit signifikantem Unterschied zwischen Adduktionspunkten (oberer Pfeil) und Zentrikbissnahmen (unterer Pfeil).....	51
Abbildung 27: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 1 bei gesunden Probanden im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten des Adduktionspunktes 1 bei kranken Patienten, ohne signifikante Unterschiede .....	52
Abbildung 28: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 2 bei gesunden Probanden im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten des Adduktionspunktes 2 bei kranken Patienten, ohne signifikante Unterschiede .....	53
Abbildung 29: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte der manuellen Kieferrelationsbestimmung des unerfahrenen Untersuchers bei gesunden Probanden im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der manuellen Kieferrelationsbestimmung des unerfahrenen Untersuchers bei kranken Patienten, ohne signifikante Unterschiede .....	53
Abbildung 30: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte der manuellen Kieferrelationsbestimmung des erfahrenen Untersuchers bei gesunden Probanden im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der manuellen Kieferrelationsbestimmung des erfahrenen Untersuchers bei kranken Patienten, ohne signifikante Unterschiede .....	54
Abbildung 31: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte der Zentrikbissnahme des erfahrenen Behandlers im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der Zentrikbissnahme des unerfahrenen Behandlers, ohne signifikante Unterschiede .....	55
Abbildung 32: Grafische Darstellung der sagittalen und transversalen Werte zur Streuung der einzelnen Methoden der Kieferrelationsbestimmung als Standardabweichung in Prozent. Funktionsgestörte Patienten weisen höhere Werte der Streuung auf, vor allem bei den Adduktionspunkten nach den Stützstiftaufzeichnungen (Adduktionspunkt 2).....	56
Abbildung 33: Patientenbeispiel mit Koordinationsschwierigkeiten und assymmetrischem Pfeilwinkel .....	58
Abbildung 34: Probandenbeispiel ohne Koordinationsschwierigkeiten und symmetrischem Pfeilwinkel .....	58

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Graduierung chronischer Schmerzen nach v. Korff et al. [144] .....	30
Tabelle 2: Klassifikationsschema nach den RDC/TMD [31].....	31
Tabelle 3: Diagnoseschema, von Ahlers und Jakstat entwickelt und in der Nomenklatur der DGFDT angewendet [6].....	32
Tabelle 4: Darstellung der Wertepaare, die zur statistischen Berechnung mittels des gepaarten T-Tests verwendet wurden, mit dem Ziel die Methoden-, Patienten- und Behandlerabhängigkeit zu untersuchen.....	47
Tabelle 5: Ergebnisse der sagittalen und transversalen Werte zur Streuung der einzelnen Methoden der Kieferrelationsbestimmung in Millimeter als Mittelwerte der Standardabweichung. Im jeweiligen Vergleich der einzelnen Methoden zur Kieferrelationsbestimmung weisen funktionsgestörte Patienten höhere Werte der Streuung auf .....	56
Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der Messwertdifferenzen der verschiedenen Methoden zur Kieferrelationsbestimmung in der Transversalen .....	59
Tabelle 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Messwertdifferenzen der Adduktionspunkte und manuellen Zentrikbissnahmen in der Sagittalen.....	60
Tabelle 8: Angaben verschiedener Autoren zur Differenz zwischen Zentrik und habitueller Kieferrelation bei vollbezahnten Probanden in der Sagittalen.....	70

## 1 Einleitung

Im stomatognathen System stellt das Zusammenspiel von Kaumuskulatur, Kiefergelenk und dem dentalen Apparat eine funktionelle Einheit dar. Im physiologischen Gleichgewicht beeindrucken die Leistungen des Kauorgans bei minimalem Kraftaufwand durch eine erstaunliche Effektivität. Treten im Bereich der okklusalen oder kondylären Strukturen Störungen auf, ist das neuromuskuläre System durch deren funktionelle Beziehung nachteilig beeinflusst. Eine unkoordinierte Muskelaktivität, die wiederum Myopathien und unphysiologische Belastungen beteiligter Gewebe hervorruft, kann die Folge sein.

Mit diesem Wissen gilt es, alle zahnärztlich-therapeutischen Maßnahmen, die die okklusalen Verhältnisse oder die intermaxilläre Relation verändern, auf die temporomandibulären Strukturen auszurichten.

Die Kieferrelationsbestimmung als exakte Zuordnung von Ober- und Unterkiefer ist sowohl aus therapeutischer als auch aus diagnostischer Sicht von entscheidender Bedeutung. Im Rahmen der klinischen und der instrumentellen Funktionsanalyse wird die Zuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer als Ausgangspunkt für die statischen und dynamischen Beziehungen der Okklusion untersucht.

In der Prothetik stellt die Kieferrelationsbestimmung zudem einen entscheidenden Arbeitsschritt für die Herstellung von indirekten Restaurationen wie Kronen, Brücken, implantatgetragenen Zahnersatz sowie von herausnehmbarem Zahnersatz wie Teil- und Totalprothesen dar. Ziel ist es, die Beziehung beider Kiefer zueinander schädel- sowie gelenkbezüglich möglichst genau den Verhältnissen des Patienten entsprechend in den Artikulator zu überführen. Eine präzise und reproduzierbare Registrierung und Fixierung der Relation des Unterkiefers zum Oberkiefer ist erforderlich, um Aufbissbehelfe oder Zahnersatz im okklusalen Bereich exakt kontrollieren und später ohne größere Einschleifarbeiten eingliedern zu können [93, 136].

Treten in der Arbeitsphase der Kieferrelationsbestimmung Fehler auf, so sind diese meist nur mit hohem Aufwand, durch Zahnumstellung, eine Remontage oder eine Neuanfertigung des Ersatzes zu kompensieren [36].



## 1.1 Okklusion

In der Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (DGFDT) und der Deutschen Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, DGZPW, (01.09.2005, heute DGPro) wird die sogenannte Okklusion als „jeder Kontakt zwischen den Zähnen des Ober- und Unterkiefers“ definiert [26].

Der Begriff „Okklusion“ bezieht sich demnach auf den Schluss der Zahnreihen und auf die funktionellen Zahnkontakte, die aus der Bewegung entstehen. Es wird also die statische von der dynamischen Okklusion differenziert. Darüber hinaus wird Okklusion nicht nur im Zusammenhang mit der anatomischen Lagebeziehung der Zähne gebraucht, sondern auch mit ihrer Wechselwirkung auf das mastikatorische System [109].

Grundsätzlich können verschiedene Positionen des Unterkiefers in Relation zum Oberkiefer unterschieden werden. Daraus abgeleitet ergeben sich verschiedene Formen der statischen Okklusion.

Die habituelle Okklusion stellt den Zahnkontakt dar, den der Patient gewohnheitsmäßig einnimmt. Eine stabile Verzahnung, die vor allem durch die Stützzonen realisiert ist, definiert die Lage des Unterkiefers zum Oberkiefer in sagittaler, transversaler und vertikaler Richtung.

Die maximale Interkuspitation kennzeichnet jene Unterkieferposition, in der ein maximaler Vielpunktkontakt besteht [26].

Fuhr und Reiber beschreiben die maximale Interkuspitation als kranialen Endpunkt der freien und auch zahngeführten Bewegungen des Unterkiefers mit einer eindeutigen, gleichmäßigen, sagittalen, transversalen und vertikalen Zuordnung der antagonistischen Zahnpaare des Unterkiefers zum Oberkiefer [38].

Die habituell eingenommene Okklusion muss nicht zwangsläufig mit der maximalen Interkuspitation identisch sein [10]. Zum Teil können erhebliche Abweichungen in Form einer mandibulären Schonhaltung auftreten [87].

Die zentrische Okklusion ist der Zahnkontakt in zentrischer Kondylenposition, das heißt bei kranioventraler, nicht seitenverschobener Position beider Kondylen bei physiologischer Kondylus-Diskus-Relation und physiologischer Belastung der beteiligten Gewebestrukturen [26].

Die Stellung der Kondylen in maximaler Interkuspitation muss nicht identisch sein mit der zentralen Kondylenposition [13, 43, 53, 83, 111, 138].

Posselt [107] gibt an, dass in sagittaler Richtung ein Unterschied zwischen retrudierter Kontaktposition und der Interkuspitationsposition bei erwachsenen Individuen im Durchschnitt  $1,25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  beträgt. Bei Kindern fällt dieser Unterschied kleiner aus ( $0,85 \text{ mm} \pm 0,6 \text{ mm}$ ).

Idealerweise wird die maximale Interkuspitation aus der neuromuskulär gesteuerten Schließbewegung des Unterkiefers erreicht, wobei sich die Kondylen gleichzeitig in physiologischer zentraler Position befinden [78]. Anders formuliert entspricht im idealen Modell die maximale Interkuspitation der habituellen sowie der zentralen Okklusion.

## **1.2 Geschichtlicher Überblick über die Position des Kondylus/der Kieferrelation**

Die frühesten zahnärztlichen Tätigkeiten beruhten meist auf der Behandlung von kariösen Zahndefekten, der Versorgung des Lückengebisses und der Zahnlosigkeit, wobei die ästhetische Wiederherstellung im Vordergrund stand. Funktionelle Aspekte spielten dabei eine untergeordnete Rolle.

Ein Umdenken erreichte Gysi [46] mit seinen Arbeiten zur Kondylenpositionierung Anfang des 20. Jahrhunderts.

Seither beschäftigt die Kieferrelationsbestimmung die Zahnärzte und Wissenschaftler.

Während früher eher die Frage der korrekten Zuordnung vom Unter- zum Oberkiefer in der Versorgung zahnloser Patienten erörtert wurde, ist die Problematik der physiologischen Unterkiefer- und Kondylenposition auf teil- und vollbezahnte Patienten ausgedehnt, bis heute Anlass für zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen.

In der geschichtlichen Auseinandersetzung mit der Kieferrelation fällt die häufige Verwendung sich ähnelnder Bezeichnungen, wie zentral, zentral oder zentriert in Bezug auf die Beschreibung der Unterkieferposition oder der Okklusion auf. In der Literatur finden sich zahlreiche Überschneidungen im Einsatz der Begrifflichkeiten. So werden für unterschiedliche Positionen gleiche Bezeichnungen gebraucht.

Die offiziellen Definitionen für die zentrische Kondylenposition änderten sich mit der Ansicht der idealen Lage der Kondylen in der Fossa. 1956 wurde die Zentrik im Glossary of Prosthodontic Terms als „most retruded position“ im Sinne einer posterioren Kondylenlage definiert [2]. Auch die DGZPW sah 1967 in ihrem Nomenklaturvorschlag der zentralen Relation den Unterkiefer in einer Dorsalposition, aus der noch zwanglos Lateralbewegungen ausgeführt werden können. 1968 folgte international die Definition der Academy of Denture Prosthetics der „most posterior superior position“, wobei zusätzlich zur posterioren die kraniale Lage des Kondylus gewünscht wurde [3]. Nach über 50 Jahren der Annahme, das Konzept der hintersten Kondylenposition sei das Optimum, nach dem Motto „the more retruded the better“ [72], trat man in den späten 1970er-Jahren von diesem Ideal zurück [10].

So fand 1987 eine Re-Definition in dem Glossary of Terms statt und eine „most superior anterior position“ galt nun als ideale Kondylus-Fossa-Beziehung [4]. 1992 bzw. 1994 gaben die Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik in der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) und die Academy of Denture Prosthetics die noch heute gültige Definition heraus: Die zentrische Kondylenposition ist eine „kranio-ventrale, nicht seitenverschobene Position beider Kondylen bei physiologischer Kondylus-Diskus-Relation und physiologischer Belastung der beteiligten Gewebe“ [5, 9].

Analog zu den unterschiedlichen Definitionen entwickelten sich auch im Laufe der Zeit verschiedene Methoden der Kieferrelationsbestimmung.

Gysi beschrieb [46] die erste Methode zur grafischen Aufzeichnung der zentrischen Unterkieferposition in Form eines pfeilförmigen Winkels [72]. Er entwickelte am Anfang der Jahrhundertwende ein Registriersystem, das mithilfe von Registrierschablonen, bestehend aus einer unteren Schreibplatte und einer Oberkieferwachsschablone mit Schreibstift, extraorale Aufzeichnungen der Unterkieferbewegungen in der Horizontalebene ermöglichte. Der gotische Bogen beschrieb dabei die Grenzbewegung des Inzisalpunktes. Als Ziel wurden eine zentrierte Kondylenposition und eine reproduzierbare horizontale Kieferrelation durch Verschlüsselung der Bisschablonen auf der Pfeilspitze verfolgt.

Die Entwicklung der Pfeilwinkelaufzeichnung gilt als herausragender Verdienst und deren fundamentale Bedeutung zeigt sich auch Jahre später in dem offiziellen Emblem der DGZPW, die 1975 den Pfeilwinkel als repräsentatives Symbol einführte [27].

Phillips [105] sah 1927 in der gysischen Aufzeichnungsmethode die Gefahr des Ablösens der Registrierplatten bei Lateralbewegungen und damit mögliche fehlerhafte Aufzeichnungen. Daraufhin entwickelte er eine dreifüßige Kugel als Schreibstift für den Unterkiefer, die sich bei Druck auf und ab bewegen konnte, und eine flache Registrierplatte aus Metall für den Oberkiefer. Diese Innovation, später als „central bearing point“ bezeichnet, hatte den Vorteil einer störungsfreien Aufzeichnung und eines gleichmäßigen Drucks auf die zahnlosen Kieferkämme.

Kingery [74] hinterfragte 1952 die Pfeilwinkelaufzeichnung, denn es gibt keine Kontrolle wie viel Druck der Patient beim Schließen aufwendet. Die Pfeilwinkelaufzeichnung könne zudem nicht bei stark prognathen oder stark retrognathen Patienten angewendet werden. Ein Schlotterkamm, ein stark resorbierter Kieferkamm und eine große Zunge machen den Einsatz darüber hinaus unmöglich.

Schuyler, der Entwickler der „freedom in centric“, nutzte 1932 in der Zuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer nicht die gysische Aufzeichnungsmethode [117]. Er empfahl, während der Kieferrelationsbestimmung die Patienten anzuhalten, die Zunge bei dem Kieferschluss am Gaumen zu halten. Das Ergebnis sollte zusätzlich im Anschluss durch eine Schluckprobe kontrolliert werden.

Meyers [95] entwickelte die Methode des „functionally generated occlusal path record (FGP)“, mit der er eine von ihm angestrebte balancierte Okklusion als Okklusionskonzept umsetzen konnte. Er ließ sich durch den Patienten ein okklusales Relief im posterioren Zahnbereich zeichnen, indem er ein spezielles Wachs auftrug. Die Gegenbezahnung zeichnete durch Lateral- und Protrusivbewegungen Bahnen, die die okklusale Anatomie widerspiegeln und in die Restauration übertragen wurden. Zum Auffinden der Startposition wurde ein leichter Kinndruck empfohlen.

Robinson [112] stellte 1951 fest, dass sich die „centric relation“, das heißt die retrale Kondylenlage, nach posterior durch forcierte Führung des Unterkiefers maximieren lässt.

Nach Posselts [107] Auffassung werden die Unterkiefergrenzbewegungen durch die Bänder kontrolliert.

Lucia [89] hingegen präferierte 1953 eine retrale Kondylenlage, in die die Kaumuskeln den Unterkiefer ziehen können. Er sah in der Ermittlung der wahren Scharnierachse den Schlüssel die „centric relation“ korrekt zu übertragen.

Boos [14] sprach der sogenannten „centric relation“ 1954 nicht die bestimmende Rolle zu. Bei normalen Patienten sei das Ziel, die Okklusion, das Gelenk und das Weichgewebe in physiologische Beziehung zueinander zu bringen. Eine besondere Technik zur Kieferrelationsbestimmung sollte nur bei ungewöhnlichen Patientenfällen angewendet werden.

Shanahan [121] sah 1955 in der Schluckmethode als physiologische Technik die „centric relation“ widergespiegelt. Er trug auf den Unterkieferzahnbogen weiches Wachs auf und ließ den Patienten einige Male schlucken. Die Zunge sollte während des Schluckvorgangs den Unterkiefer in eine retrale Position bringen.

Lucia [88] sah sich in der offiziellen Definition im Glossary of Terms von 1956 [2] in seiner angewendeten Methode („chin point guidance method“) bestätigt. Die Erklärung dafür sah er ebenso in der Anatomie des Kiefergelenks, denn die „centric relation“ ist seiner Ansicht nach die stabile Ruheposition des Unterkiefers und in Funktion kämen die Kondylen in die „terminal hinge position“, die Position der terminalen Scharnierachse.

McCullum [92] sieht, wie auch Lucia, dass zur Bestimmung der zentrischen Kieferrelation, die er als rückwärtigste Kondylenposition in der Gelenkfossa definiert, eine reproduzierbare Scharnierachse ermittelt werden muss. Laut seiner Vorstellung ist dies Voraussetzung, die wahre das heißt die „normale“ zentrische Position und somit den Startpunkt der Unterkieferbewegungen, aus der keine aktive Retrusion möglich ist, einzustellen.

Pameijer [104] kam 1968 aufgrund einer elektronischen intraoralen Vermessung zum Schluss, dass die funktionellen okklusalen Kontakte beim Schlucken und Kauen eine „habituelle“ Okklusion beschreiben und sich der Unterkiefer nicht in einer „most retruded“ Position befindet.

Das Konzept der Zentrik mit retrusiver Kondylenlage ist in den 1970er-Jahren immer noch gültig. Diese Zeit ist vor allem durch Innovationen im Bereich des Instrumentariums geprägt. Die Studien richten sich vor allem danach, mit welcher Methode dieses Ziel erreicht werden kann.

Nach Kantor, Silverman und Garfinkel [70], die verschiedene Methoden gegenüberstellten und zwischen habitueller und „zentrischer“ Okklusion unterschieden, ist die „chin point guidance“-Methode den anderen erstens in ihrer Reproduzierbarkeit überlegen und zweitens wird der Unterkiefer in die gewünschte rückwärtigste Position gebracht.

Weinberg [147] bezweifelte 1972, dass die Reproduzierbarkeit der retralen Kondylenposition allein für eine korrekte, physiologische Position spricht. Er schlussfolgerte zudem, dass der neuromuskuläre Mechanismus in die Dysfunktionalität übergehen kann, wenn die Kondylen konzentrisch in der Fossa angeordnet sind. Er sprach sich für die eigentliche Zentrierung der Kondylen in der Fossa aus, denn weder eine Retrusion noch eine Protrusion stellten in seinen Augen eine physiologische Kondylenposition dar.

Myers [96] stellte 1980 fest, dass die anzustrebende retralste Unterkieferposition, die „centric relation“, sowohl mit dem Pfeilwinkelregistrator als auch mit manueller Führung des Zahnarztes reproduzierbar aufzufinden ist.

Einige wenige Wissenschaftler forderten Anfang der 1980er-Jahre ein Umdenken und eine neue Definition der Zentrik [73].

Gilboe [40] zum Beispiel sah 1983 in der Vergangenheit das intraartikuläre Gewebe in seiner Wirkung auf die Position der Kondylen vernachlässigt. Er beklagte, dass die früheren Annahmen aufgrund von Untersuchungen an trockenen Proben oder durch röntgenologische Auswertungen von zweidimensionalen knöchernen Strukturen beruhen. Er definierte die „centric relation“ als die höchste Position der Kondylen in der Fossa, wobei der Diskus mit der artikulierenden Oberfläche der Kondylen einerseits im Kontakt steht und mit der Eminentia articularis andererseits. Die reine Reproduzierbarkeit einer Position sagt nichts über ihre Funktionalität aus. Iatrogene Funktionsstörungen des Kiefergelenks werden nach Ansicht des Autors ausgelöst, indem der Unterkiefer zu weit nach retral platziert wird.

Mitte der 1980er-Jahre wurde das Hauptaugenmerk auf das Kiefergelenk mit dem Kondylen-Diskus-Komplex gelegt, im Gegensatz zur Vergangenheit, in der sich eher um die Positionen der „centric relation“ oder der „centric occlusion“ gekümmert wurde [73].

Trotzdem war die Philosophie „the more posterior the better“ immer noch gültig. So entwickelten Jankelson und Adib 1986 einen Apparat, der den Behandler in der rückwärtigen Manipulation des Unterkiefers unterstützt [61].

Sie untersuchten wie viel Kraft auf das Kinn quantitativ aufgewendet werden muss, um die „centric relation“ zu erzielen und stellten fest, dass die manuelle Führung in ihrer Variabilität keine reproduzierbaren Ergebnisse liefert.

Jimenez [63] untersuchte in seiner Studie 1989 die muskuläre Aktivität mittels EMG-Aufnahmen in verschiedenen Unterkieferpositionen (RKP, IKP, muskuläre Position). Es zeigte sich, dass in der rückwärtigen Unterkieferposition (RKP) der Anteil der eigentlich wichtigen Kaumuskelaktivität (M. masseter) gering ausfiel und der Anteil der positionierenden Muskeln (M. temporalis posterior) hoch war. Die Schlussfolgerung aus dieser Studie war, dass die RKP keine optimale Position darstellt.

In der Studie von Piehslinger [106] wurde die „centric relation“ ermittelt, indem der Unterkiefer am Kinn unforciert geführt wurde. In der Untersuchung von funktionskranken und funktionsgesunden Patienten durch verschiedene Behandler ergab sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Reproduzierbarkeit dieser Position. Zudem wurde angenommen, dass es sich bei der „centric relation“ als eine Referenzposition nicht um einen Punkt, sondern vielmehr um ein „biologisches Gebiet“ handelt.

Dawson [22] setzte sich 1995 mit der neuen Terminologie der „centric relation“ auseinander. Er bemängelte, dass strukturell deformierte Kiefergelenke (zum Beispiel durch Krankheit, Trauma und Remodelling), die in ihrer Funktion nicht eingeschränkt sind, nicht den Anforderungen der Definition entsprechen.

In diesen Fällen schlägt er vor von „adapted centric posture“ zu sprechen.

### **1.3 Verfahren der Kieferrelationsbestimmung/Methoden**

Die Kieferrelationsbestimmung wird als „dreidimensionale Zuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer“ definiert [26].

Grundsätzlich wird die Kieferrelationsbestimmung in drei Einzelabschnitte eingeteilt:

die schädelbezügliche Zuordnung des Oberkiefers, die vertikale und die horizontale Kieferrelation [36].

Die Bestimmung der vertikalen Kieferrelation muss der Bestimmung der horizontalen Kieferrelation vorausgehen, da eine vertikale Änderung zwangsläufig eine horizontale Änderung in sagittaler Richtung nach sich zieht [15, 55].

Alle Abschnitte der Kieferrelationsbestimmung dienen dazu, eine harmonische Beziehung zwischen den Zahnreihen, der Muskulatur und den Kiefergelenken herzustellen.

### 1.3.1 Schädelbezügliche Zuordnung des Oberkiefers

Die Erfassung der schädelbezüglichen Lage des Oberkiefers mithilfe eines Gesichtsbogens ist die Voraussetzung für eine dem Patienten entsprechende Übertragung in einen Artikulator.

Je nach Artikulatortyp kommen verschiedene Bezugsebenen, wie die Camper'sche Ebene, die Frankfurter Horizontale und die Patientenhorizontale in Betracht.

Die Anwendung eines Gesichtsbogens an sich ist kein ausreichender Indikator für Qualität [28].

Die Gesichtsbogenübertragung stellt im Rahmen rekonstruktiver oder funktionsanalytischer Maßnahmen vielmehr einen Arbeitsschritt von vielen dar, jedoch mit einem erheblichen Einfluss auf okklusale Fehler, im Speziellen der Kieferrelationsbestimmung. Die Veränderung der vertikalen Relation im Artikulator kann klinisch relevante Fehler im Bereich der statischen Okklusion nach sich ziehen, wobei das Ausmaß des Fehlers von der Größe der vertikalen Veränderung abhängt [28]. Diese Verschiebung der Modelle im Artikulator hat nur dann keine nachteiligen Folgen, wenn die Rotationsachse der des Patienten entspricht. Je näher der okklusale Bereich dem Kondylus ist, desto größer ist das Ausmaß des okklusalen Fehlers. Demzufolge ist der Bereich der Molaren gefährdeter als die Schneidekanten [102].

Schon Gysi wies 1912 darauf hin, dass bei Veränderungen der „Bisshöhe“ die Verwendung eines Artikulators mit anatomisch nachempfundenen Führungsflächen der Gelenke verhindert, dass sich die Zahnkontakte nach anterior oder posterior verschieben [45].

Im deutschsprachigen und im amerikanischen Raum gehört die Verwendung von Gesichtsbögen im Gegensatz zu den skandinavischen Ländern vor allem bei umfangreichen prothetisch-restaurativen bzw. funktionsanalytischen Maßnahmen zum Standard [57].

Jedoch wird die Gesichtsbogenanwendung wegen fehlender Evidenz über deren Nutzen auch infrage gestellt [57].

Da die Veränderung der vertikalen Dimension jedoch oben beschriebene nachteilige okklusale Differenzen nach sich zieht, ist die Anwendung des Gesichtsbogens anzuraten, wenn Korrekturen der vertikalen Dimension geplant sind [93, 102].

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Gesichtsbogen selbst zwar nichts mit der horizontalen Kieferrelation zu tun hat, ihm jedoch als methodische Voraussetzung ein qualitätsverbessernder beziehungsweise ein qualitätssichernder Effekt zuzuschreiben ist.



Für eine Optimierung der dynamischen Okklusionskontakte empfiehlt sich zusätzlich zur Anwendung des Gesichtsbogens die Registrierung weiterer Faktoren, wie sagittaler Gelenkbahnneigungswinkel und Bennett-Winkel.

Ist jedoch eine mittelwertige Modellübertragung in den Artikulator ohne Gesichtsbogen geplant, sind eine stabile maximale Interkuspitation, eine eckzahngeschützte Okklusion als Okklusionskonzept und moderate Neigungswinkel von zentralen Höckerabhängigen die Voraussetzung [28].

### **1.3.2 Vertikale Zuordnung**

Die vertikale Dimension der Okklusion wird als vertikaler Abstand der Kiefer zueinander bei okklusalem Zahnkontakt definiert [18].

Hromatka stellte 1960 fest, dass die vertikale Beziehung der Kiefer zueinander bei vollbezahnten Patienten durch okkludierende Gegenzahnpaare im Seitenzahnbereich bzw. im Frontzahnbereich aufrechterhalten wird [55].

Sind die okklusalen Verhältnisse zwischen Ober- und Unterkiefer inadäquat oder instabil, muss die vertikale Dimension durch den Zahnarzt neu bestimmt werden [98].

Zur Bestimmung der vertikalen Kieferrelation existieren verschiedene Methoden, wie zum Beispiel die Fernröntgenseitenaufnahme [108], Gesichtsausmessungen [149], Schluckbissnahme mit Sprechprobe [122] und Ermittlung des geringsten Sprechabstands [123].

Die Erfassung der sogenannten Ruhelage des Unterkiefers ist eine gebräuchliche Methode, die in der zahnärztlichen Praxis routinemäßig zur Anwendung kommt. Sie wird als „unbewusste Abstandshaltung des Unterkiefers zum Oberkiefer bei aufrechter Kopf- und Körperhaltung“ definiert [26].

In dieser vertikalen Relation der Kiefer wird ein Interokklusalabstand von etwa 2–4 mm gemessen [55].

Für den Test der Funktion und die Erfassung der Ruhelage hält Hromatka die „lang hingezogene Aussprache des Buchstaben M“ für die beste Methode [55].

Eine verspannte Kaumuskulatur verhindert durch den erhöhten Muskeltonus die korrekte vertikale Zuordnung beider Kiefer zueinander [38].

Durch vorbehandelnde Maßnahmen, wie zum Beispiel eine Schientherapie oder eine physiotherapeutische Behandlung, sollte eine Entspannung der Muskulatur erreicht werden [8, 94].

### **1.3.3 Horizontale Zuordnung**

Seit Beginn der wissenschaftlichen Zahnmedizin zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden unterschiedlichste Verfahren zur Einstellung der horizontalen Kieferrelation entwickelt und diskutiert.

Den gebräuchlichen Methoden stehen aber auch Verfahren gegenüber, die weniger große Verbreitung gefunden haben:

Bei der Walkhoff'schen Methode zur Ermittlung der zentralen Okklusion wird der Patient aufgefordert, während der Schließbewegung eine am hinteren oberen Plattenrand befestigte Wachs- oder Glaskugel mit der Zungenspitze zu berühren bzw. festzuhalten [55, 118, 145].

Eine andere Methode zur Kieferrelationsbestimmung wurde 1940 von Boss beschrieben. Er benutzte den sogenannten Gnathodynamometer zur Beißkraftbestimmung, denn er theoretisierte, dass die optimale intermaxilläre Relation, die die horizontale und die vertikale Dimension beinhaltet, mit der Position der maximalen Beißkraft zusammenfällt [16, 72].

Die Kalottenmethode, von Fehr 1947 beschrieben, umfasste die Verwendung einer Monson'schen Kalotte zur Ausformung der Bisschablonen. Ziel war es, eine sagittale und transversale Kompensationskurve festzulegen und dementsprechend die Zahnreihen aufzustellen. Bei totalen Prothesen wurde auf eine Höckergestaltung und einen Schneidezahnüberbiss gänzlich verzichtet, während dies bei partiellen Prothesen entsprechend der Gegenbezahnung berücksichtigt wurde [33],

Köhler (1958) ermittelte die Schlussbisslage ohne technische Hilfsmittel durch das sogenannte Mundwinkelphänomen, bei dem der Patient durch Zurückziehen der Mundwinkel seinen Unterkiefer in eine maximal retrudierte Lage bringt [79].

Spring stellte 1953 fest, dass die Patienten in der Praxis nach der Methode des Gotischen Bogens nach Gysi die Tendenz zeigen, die künstlichen Zahnreihen des Unterkiefers nach anterior zu verschieben und erst nach einiger Zeit die durch die Registrierung angestrebte zentrale Okklusionsstellung aufweisen. Spring beobachtete ein gegenseitiges horizontales Verschieben der Prothesenbasis auf ihrer Unterlage und somit die erhöhte Gefahr von Druckstellen und

Abbau des Kieferkammes. Das Problem bei der Registrierung nach Gysi sieht Spring in den bewussten, unter abnormer Muskelspannung vor sich gehenden Bewegungen, die er als unphysiologisch bezeichnet. Er schlägt hingegen vor den Patienten aufzufordern „den Biß zu schlucken (Swallowing the bite)“, was eine physiologische Methode zur Bestimmung der zentralen Okklusion darstellt und den Unterkiefer in sagittaler und transversaler Richtung fixiert [126].

Die von Hromatka 1960 empfohlene Schluckbissnahme macht sich die Tatsache zunutze, dass beim Schlucken der Unterkiefer abgestützt wird. Er betonte die Unwillkürlichkeit dieser Methode, die als funktionelle, reflexgesteuerte Maßnahme das Ziel hat, dem Patienten eine „gewohnte, muskulär ausbalancierte Schlußbißlage“ zu verschaffen [55].

Die Zuverlässigkeit dieser Methode wird aufgrund der hohen Streuung mehrfach infrage gestellt [70, 118].

Der Myo-Monitor wurde 1969 von Jankelson mit dem Ziel entwickelt, die neuromuskulär orientierte Kieferrelation durchzuführen und eine entspannte Position des Unterkiefers zu determinieren [62].

Die skeptische Einstellung vieler Wissenschaftler konnte durch mehrere Studien nicht ausgeräumt werden [12]. Es wurde festgestellt, dass die stimulationsinduzierte Position einerseits nicht mit der zentrischen Relation bzw. Okklusion übereinstimmt, sie war jeweils anteriorer und stellte andererseits durch die gemessene Streuung keine eindeutige reproduzierbare Position dar [11, 70, 110].

Im Allgemeinen kann die Relation des Unterkiefers zum Oberkiefer beim vollbezahnten, gesunden Kauorgan einerseits gelenkbezogen durch die Abstützung der Kondylen an der Schädelbasis und andererseits okklusionsbezogen durch die gegenseitige Abstützung der Zahnreihen ermittelt werden.

Erfolgt die Zuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer über die habituelle Okklusion, ist eine gesicherte Okklusion die Voraussetzung, mit dem Ziel, diese nicht verändern zu wollen. Die Position der Kondylen wird durch die Zahnführung bzw. von der Muskelführung bestimmt.

Jedoch können diverse Normabweichungen im orofazialen System, wie zum Beispiel individuelle Kombinationen von Zahnfehlstellungen, übermäßige okklusale Attrition, Kondylus- und/oder Diskusverlagerungen sowie orthopädische Störeinflüsse nachteilig wirken. Um dies

auszuschließen, empfiehlt es sich, die horizontale Kieferrelationsbestimmung in zentrischer Okklusion anzuwenden, wobei verschiedene Methoden und Aufzeichnungstechniken zur Verfügung stehen [7].

Die gelenkbezogene Kieferrelationsbestimmung hat das Ziel die zentrische Kondylenposition, eine manuell geführte und ligamentär definierte Unterkieferposition, zu definieren. Dafür stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Die gebräuchlichste Methode ist die sogenannte „Handbissnahme“ [47], die im Sinne der im Jahre 2006 neu aufgelegten Nomenklatur besser als „handgeführte Kieferrelationsbestimmung“ bezeichnet wird [29].

Dem gegenüber steht die horizontale Kieferrelationsbestimmung mit der zentralen Stützstiftregistrierung, bei der entweder die zentrische Kondylenposition oder aber eine muskeldominierte Unterkieferhaltung festzulegen ist [44, 103, 105].

Die Methodik, bei der das neuromuskuläre System die Lagebestimmung des Unterkiefers bestimmt, geht von einem funktionell geprägten Ansatz aus. Als Beispiel dafür ist die Aufzeichnung des Adduktionsfeldes zu nennen [25, 34, 126].

### **1.3.3.1 Handgeführte Kieferrelationsbestimmung**

Unter den verschiedenen Verfahren zur Bestimmung der horizontalen Unterkieferposition ist die handgeführte Kieferrelationsbestimmung die verbreitetste Methode. Der wesentliche Grund dafür ist ihr deutlicher zeitlicher Vorteil gegenüber dem Stützstiftverfahren, denn sie lässt sich mit Registrierschablonen oder mit Wachsplatten am Patienten ohne weiteres technisches Equipment durchführen.

Die handgeführte Kieferrelationsbestimmung wird sowohl bei vollbezahnten als auch bei teilbezahnten und zahnlosen Patienten angewendet. Bei teilbezahnten und zahnlosen Patienten erfolgt die Verschlüsselung der Kieferrelation auf den Funktionsabformungen mittels Registrierschablonen (Wachswallschablonen, „Bisschablonen“) oder mit Prothesen, die gegeneinander fixiert werden. Als Registratmaterialien haben sich entsprechende Wachse oder thermoplastische Massen bewährt.

Bei Vollbezahnten ist eine Bissperrung erforderlich, sofern die handgeführte Kieferrelationsbestimmung mit einer Wachsplatte durchgeführt wird.

Entscheidend für die Anwendung der Methode ist, dass der Patient keinesfalls aktiv auf die Wachsplatte beißt oder diese sogar perforiert. Dieser sogenannte „Quetschbiss“ eignet sich

lediglich zum Ermitteln der habituellen Okklusion. Bei der Durchführung der handgeführten Kieferrelation sollte auf eine möglichst geringe Schichtstärke der Wachsplatten geachtet werden, da es sonst beim Absenken der Bissperrung im Artikulator zu größeren Abweichungen in der sagittalen Relation kommen kann [15, 55].

Als Anforderung bei der Materialauswahl steht vor allem die Dimensionsstabilität der Werkstoffe, die eine exakte und reproduzierbare Zuordnung der Modelle erlauben [128]. Nicht zu vernachlässigen ist allerdings auch die gute Verarbeitbarkeit am Patienten und die Lagerungsstabilität bzw. die Transportstabilität. Hinsichtlich der Biokompatibilität dürfen die Materialien keine schädigenden Einflüsse auf beteiligte oder umliegende Gewebe haben [99]. Um die Stabilität der Registratur zu erhöhen, wurden Bissregistriererträger entwickelt, das sind Trägerplatten aus Kunststoff oder Zinn.

Zur klinischen Durchführung sind mehrere Methoden bekannt:

- einhändige Führung des Unterkiefers, mit geringem bis mäßigem Druck mittels des Daumens am Kinn, der Zeigefinger stützt sich quer am Kinn ab [82, 88, 119]
- bimanuelle Unterkieferführung (DAWSON-Griff): Der Behandler steht oder sitzt hinter dem Patienten, platziert jeweils die vier Finger an der Unterseite des Unterkiefers, stützt sich mit den Daumen am Kinn ab und führt den Unterkiefer mit geringem Druck [7, 23, 127]

Die Führung des Unterkiefers erfolgt nicht forciert nach dorsokranial, sondern soll lediglich ein Protrudieren des Patienten verhindern [7].

### **1.3.3.2 Adduktionspunkt**

Das Aufzeichnen des Adduktionspunktes bzw. -feldes ist eine Methode, die neuromuskulär gesteuert wird mit dem Ziel, die habituelle Okklusion durch zwanglose aufeinanderfolgende Öffnungs- und Schließbewegungen zu registrieren [34].

Die mit Stützstiftplatten registrierte neurologische Position ergibt durch eine gewisse Streuung jedoch keinen Punkt, sondern ein Feld. Dieses Adduktionsfeld kann rundlich-ellipsoide, tropfenförmige sowie birnen- bis schlauchartige Formen aufweisen [34, 59, 69, 75], wobei festgestellt wurde, dass eine kürzere Registrierdauer ein rundes Feld begünstigt [34, 69].

Damit ist eine eindeutige Verschlüsselung nicht möglich. Die horizontale Zuordnung des Unterkiefers ist folglich der Interpretation des Behandlers überlassen [41, 126, 135].

Die Position der Adduktionspunkte kann bei einem Patienten mit Kiefergelenksbeschwerden die Schonstellungen des Unterkiefers aufzeigen [103].

Spring ermittelt das Adduktionsfeld mithilfe von Wachswällen beim Unbezahnten, indem er den Unterkieferfrontzahnbereich mit einem kleinen Stift versieht und wiederholend den Patienten öffnen und schließen lässt [126]. Auch er stellte mit seiner Methode fest, dass ein Feld und kein Punkt entsteht und dass diese Position, gegenüber der nach Gysi registrierten, anteriorer liegt.

Für gewöhnlich wird jedoch die neuromuskulär bestimmte Position mit Stützstiftplatten registriert, was die praktische Durchführung dementsprechend schwierig gestaltet [16, 48, 77, 101, 114, 135].

### **1.3.3.3 Stützstiftaufzeichnung**

Die Aufzeichnung des Symphysenbahnwinkels geht als extraorale Originalmethode auf Gysi zurück und wird heutzutage als Stützstiftaufzeichnung nach der „Micro-denture-Methode“ nach McGrane durchgeführt [39]. Dieses intraorale Gerät ermöglicht durch eine Sperrung des Bisses eine okklusionsunabhängige Registrierung des Patienten und verhindert so die Übertragung okklusionsbedingter fehlerhafter Bisslagen [7].

Die Registrierung des gotischen Bogens erfolgt durch einen in einer Oberkieferschablone angebrachten Stift, der auf einer auf der Unterkieferschablone montierten Platte zeichnet. Der Patient zeichnet durch Vor-, Rück- und Seitwärtsbewegungen den gotischen Bogen. Die klassische Form des gotischen Bogens stellt sich in einem symmetrisch gezeichneten Pfeil dar. Dieses Bild resultiert aus einem ungestörten Bewegungsablauf in den Gelenken und einer koordinierten Muskelführung. Die Pfeilspitze stellt bei einem funktionsgesunden Patienten jene Stellung des Kondylus in der Gelenkpfanne dar, die als zentrale Relation bezeichnet wird. Folglich kann mithilfe der Stützstiftaufzeichnung die zentrische Okklusion ohne manuelle Beeinflussung des Behandlers ermittelt werden [76, 103].

Myers et al. [96] verglichen 1980 die Pfeilwinkelaufzeichnung, die der Proband aktiv ohne Manipulation des Behandlers durchführte, mit dem Pfeilwinkel, der durch jeweils drei Untersucher unter manueller Führung des Unterkiefers gezeichnet wurde. Die aktive Pfeilwinkelregistrierung durch den Behandler brachte keine Vorteile hinsichtlich der

Reproduzierbarkeit. Auch die Annahme, dass der vom Untersucher gezeichnete Pfeilwinkel retraler lag, konnte nicht bestätigt werden. Dies wurde mit dem Phänomen erklärt, dass der Patient bewusst oder unbewusst der posterioren Bewegung des Unterkiefers Widerstand entgegengesetzt.

Als mögliche Ursache für eine abgerundete Pfeilspitze steht die „Immediate Side-Shift“-Bewegung im Kondylenbereich zur Diskussion. Ebenso gelten Verspannungen der Kaumuskulatur und fehlende bis an die Grenzen gehende Bewegungen des Unterkiefers ursächlich für eine runde Pfeilspitze. Der Methode kann demnach ein diagnostischer Wert zugesprochen werden.

Bei unbezahnten Patienten kann das Bild des abgerundeten Pfeils entstehen, wenn die Prothesen auf dem Tegument seitlich verrutschen [134].

Andere Autoren sehen in der Pfeilspitze jedoch die retrudierte Unterkieferlage dargestellt [115, 118]. Ursächlich für diese Annahme ist die Durchführung der Pfeilwinkelaufzeichnung zu sehen, denn die Untersucher leiteten jeweils den Unterkiefer manuell in eine retrudierte Position.

Mayer [91] wies in seiner Untersuchung an 160 Probanden, in der mehrere Behandler Stützstiftaufzeichnungen durchführten, die intraindividuelle sowie die interindividuelle Reliabilität des Registrierverfahrens nach.

Die Stützstiftaufzeichnung lässt sich heutzutage elektronisch durchführen. Der Vorteil liegt in der Dokumentation des zeitlichen Ablaufs, die jederzeit abrufbar ist und in Echtzeit wiedergegeben und ausgewertet werden kann [143].

Darüber hinaus liegt ein weiterer Vorteil darin, die aufgewendete Kieferschließkraft während der Registrierung zu kontrollieren [143], denn hohe Kieferschließkräfte beeinflussen die Stützstiftregistrierung negativ [66, 67, 148].

## 2 Ziel der Untersuchung

Die Stützstiftaufzeichnung eignet sich als diagnostisches Hilfsmittel wie auch als therapiebegleitendes Verfahren, um die korrekte Unterkieferposition zu bestimmen und zu übertragen.

Durch die Entwicklung eines elektronischen intraoralen Stützstiftsystems ist es möglich, verschiedene Messungen durchzuführen und diese miteinander zu vergleichen. In dem zweidimensionalen Koordinatensystem können alle ermittelten Punkte und Wegstrecken einzeln betrachtet und vergleichend ausgewertet werden.

Zudem ermöglicht die Pfeilwinkelaufzeichnung die Gegenüberstellung verschiedener Methoden zur horizontalen Kieferrelationsbestimmung.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, klinisch experimentell folgende Methoden zur horizontalen Kieferrelationsbestimmung miteinander zu vergleichen:

- Adduktionspunkt 1 (ohne vorherige Stützstiftaufzeichnungen)
- Adduktionspunkt 2 (nach Stützstiftaufzeichnungen, neuromuskulär deprogrammiert)
- Zentribissnahmen manuell geführt
  - von einem erfahrenen Untersucher
  - von einem unerfahrenen Untersucher

Zur Beurteilung der Reliabilität der verschiedenen Methoden der Kieferrelationsbestimmung soll zum einen der Einfluss unterschiedlicher Behandler betrachtet und zum anderen die Rolle des Funktionszustandes der untersuchten Personen berücksichtigt werden.



Im Einzelnen sind folgende Fragen zu beantworten:

- Wie verhält sich die horizontale Lage des Unterkiefers in Abhängigkeit zur angewendeten Methode?
- Welche der untersuchten Methoden zeigt eine gute Reproduzierbarkeit?
- Beeinflusst der Funktionszustand der Patienten die Reliabilität bzw. die Reproduzierbarkeit der Methode zur Kieferrelationsbestimmung?
- Inwieweit wirkt sich der Erfahrungsstand der Behandler auf die Reproduzierbarkeit aus?
- Hat eine neuromuskuläre Deprogrammierung der Kaumuskulatur einen Einfluss auf die Position des Unterkiefers und die Reproduzierbarkeit?

Abschließend soll erörtert werden, ob eine Empfehlung zur Wahl einer Methode zur Kieferrelationsbestimmung bei funktionsgesunden sowie funktionskranken Patienten ausgesprochen werden kann.

### **3 Material und Methode**

Die Studie wurde von der Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin genehmigt (EA4/025/09).

#### **3.1 Studiendesign**

Es handelt sich um eine prospektive, kontrollierte, klinische Studie.

#### **3.2 Untersuchungsgruppe**

Die Teilnehmer der Studie wurden aus der Kiefergelenksprechstunde der Zahnklinik Charité Berlin rekrutiert.

Die Studienteilnehmer von  $n = 20$  wurden in zwei Gruppen eingeteilt. Mittels der klinischen Funktionsanalyse nach den Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (RDC/TMD) [31] wurden funktionsgesunde von funktionskranken Patienten differenziert. In Bezug auf das Alter und das Geschlecht wurde eine Gleichverteilung angestrebt.

Einschlusskriterien für die Studie:

- >18 Jahre
- myogene Dysfunktion analog der RDC/TMD-Diagnosegruppen Ia und Ib
- Okklusopathie analog der Klassifizierung der DGFDT
- Eichner-Klassifikation A1–A3, B1–B3

Ausschlusskriterien:

- <18 Jahre
- Vorliegen neurologischer Störungen
- Eichner-Klassifikation B4, C1–C3

## Behandler

Die Behandler wiesen eine unterschiedliche Erfahrung hinsichtlich der zahnärztlichen Tätigkeit im Allgemeinen und der Behandlung in der Kiefergelenksprechstunde im Speziellen auf. Zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie verfügte der erfahrene Untersucher über 25 Berufsjahre als Zahnarzt und war seit 22 Jahren in der Kiefergelenksprechstunde der Universitätszahnklinik Charité tätig. Der unerfahrene Behandler wies 2 Jahre Berufserfahrung als Zahnarzt auf und war seit einem Jahr in der Kiefergelenksprechstunde beschäftigt.

### **3.3 Klinische Funktionsanalyse**

Die Aussagekraft epidemiologischer Studien hängt ganz wesentlich von der Qualität der erhobenen Daten ab. Aufgrund der Wichtigkeit hinsichtlich der Reproduzierbarkeit in der Befunderhebung wurde ein Untersucher eingesetzt, der klinisch mit der Kiefergelenksdiagnostik vertraut war.

#### **3.3.1 Klinische Untersuchung**

Die funktionelle Untersuchung der Studienteilnehmer orientierte sich an dem Vorgehen der RDC/TMD und wurde erweitert um Untersuchungsmethoden der DGFDT (manuelle Strukturanalyse und Zahnstatus).

Die RDC/TMD ermöglichen die Klassifizierung der verschiedenen klinischen Befunde zur differenzialdiagnostischen Abgrenzung von Muskel- und Gelenkerkrankungen. Sie stellen die zurzeit am besten untersuchte Klassifikation für kranio-mandibuläre Dysfunktionen dar, sind international weit verbreitet und akzeptiert [132].

Gemessen wurden das Bewegungsmuster und die Bewegungskapazität des Unterkiefers in der vertikalen und lateralen Dimension. Die Kiefergelenke wurden auf Gelenkgeräusche beim Öffnen und Schließen sowie bei exkursiven Bewegungen untersucht. Die Kaumuskulatur, die Kopfhaltmuskulatur und die Kiefergelenke wurden auf Druckschmerzen palpiert, wobei der M. pterygoideus lat. im Gegensatz zur RDC-Vorgabe in Form eines isometrischen Belastungstests untersucht wurde, analog den Vorgaben der DGFDT.

Im Rahmen der zahnärztlichen Untersuchung wurde ein Zahnstatus erhoben.

Als Erweiterung der RDC/TMD schloss sich eine manuelle Strukturanalyse des Kiefergelenks an, die sich aus einer passiven Kompression nach kranial und retral und einer Traktion nach kaudal und anterior zusammensetzte.

Die Funktion der Halswirbelsäule wurde überprüft, indem die Mobilität des Kopfes beurteilt wurde. Geprüft wurde das Vermögen den Kopf aktiv nach rechts und links zu drehen. Ein sichtbarer Unterschied im Rotationsvermögen ausgehend von der orthograden Mittelstellung wurde vermerkt: Die Seite, die relativ eingeschränkt war, wurde im Befund gekennzeichnet. Beurteilt wurde anschließend die Seitflexion, das inklinierte (= vorgebeugte) und reklinierte (= rückgebeugte) Bewegungsvermögen des Kopfes.

### Okklusionsprüfung

Zusätzlich zum RDC/TMD fand eine klinische Okklusionsprüfung statt.

Bei Kontrolle der horizontalen Kieferrelation wurden Unterschiede zwischen der habituellen Okklusion und der zentrischen Okklusion als Gleiten in mm registriert.

Es wurde überprüft ob eine instabile Interkuspitationsposition vorliegt. Die statische Okklusionskontrolle erfolgte mittels Shimstockfolie (7–10 µm). Somit konnten Infraokklusionen im Seitenzahnggebiet bzw. Frühkontakte aufgedeckt werden, wobei jeweils zwischen habitueller und zentrischer Okklusion unterschieden wurde.

Den Abschluss der klinischen Funktionsanalyse stellte der parafunktionelle Befund dar. Es wurden Attritionen, Zungen- und Wangenimpressionen, keilförmige Defekte, parodontale Veränderungen und Zahnlockerungen vermerkt.

## **3.3.2 Anamnese**

### **3.3.2.1 Jaw Disability Liste**

Auch die Anamnese wurde analog der RDC/TMD durchgeführt, wozu die Studienteilnehmer mit orofazialen Schmerzen am Ende der Untersuchung einen Fragebogen zur Einschätzung von Funktionseinschränkungen [31] erhielten und zudem den Graded Chronic Pain Status nach von Korff et al. ausfüllten.

### 3.3.2.2 Graded Chronic Pain Status nach von Korff et al.

Zur Abschätzung des Ausmaßes der Chronifizierung eines orofazialen Schmerzgeschehens hat sich der international verbreitete „Graded Chronic Pain Status“ als geeignetes und zuverlässiges Instrument erwiesen [86]. Von Korff und Mitarbeiter stellten 1992 dieses Graduierungssystem vor [144]. Es basiert auf den Antworten der Patienten auf sieben Fragen hinsichtlich der Schmerzintensität und der Schmerzbeeinträchtigung in den letzten sechs Monaten (Tabelle 1). Durch die Fragen werden folgende Informationen erfasst:

1. Anzahl der Tage, an denen der Patient im Verlauf der vergangenen sechs Monate aufgrund seiner Schmerzen den normalen Tätigkeiten nicht nachgehen konnte;
2. Stärke der Schmerzen im Augenblick der Befragung;
3. Stärke der stärksten Schmerzen in den vergangenen sechs Monaten;
4. durchschnittliche Stärke der Schmerzen in den letzten sechs Monaten;
5. Beeinträchtigung der alltäglichen Beschäftigungen in den vergangenen sechs Monaten;
6. Beeinträchtigung der Familien- und Freizeitaktivitäten in den letzten sechs Monaten;
7. Beeinträchtigung der Arbeit bzw. Hausarbeit in den vergangenen sechs Monaten.

Die Beantwortung der Fragen 2 bis 7 erfolgt auf elfstufigen numerischen Schätzskalen. Aus den Daten lässt sich das Maß der Schmerzchronifizierung ableiten. Es werden vier Dysfunktionsgrade unterschieden, wobei die Grade I und II als funktionaler chronischer Schmerz und die Grade III und IV als dysfunktionaler chronischer Schmerz interpretiert werden. Bei dysfunktionalen chronischen Schmerzen wird eine weitergehende psychosoziale Diagnostik für den Patienten empfohlen [30].

Tabelle 1: Graduierung chronischer Schmerzen nach v. Korff et al. [144]

<b>Stadieneinteilung</b>	<b>Definition</b>	<b>Klinische Interpretation</b>
<b>Keine Beeinträchtigung</b>		
Grad 0	Keine Schmerzen in den vorherigen 6 Monaten	Schmerzfreiheit
<b>Geringe Beeinträchtigung</b>		
Grad I: geringe Schmerzintensität	< 3 Beeinträchtigungspunkte und Schmerzintensität < 50	funktionaler chronischer Schmerz
Grad II: hohe Schmerzintensität	< 3 Beeinträchtigungspunkte und Schmerzintensität $\geq$ 50	
<b>Starke Beeinträchtigung</b>		
Grad III: mäßige Einschränkung	3–4 Beeinträchtigungspunkte unabhängig von der Schmerzintensität	dysfunktionaler chronischer Schmerz
Grad IV: starke Einschränkung	5–6 Beeinträchtigungspunkte unabhängig von der Schmerzintensität	

Entsprechend eines Vorschlages von Dworkin und Massoth [32] werden die Grade I und II sowie III und IV zusammengefasst.

### 3.4 Diagnosegruppen

Nach der Erhebung des klinischen Befundes und der anamnestischen Angaben erfolgte die Einordnung der Patienten in die jeweiligen Diagnosegruppen (Tabelle 2). Zur Einteilung diente das Klassifikationsschema nach den RDC/TMD, das zusätzlich durch die Diagnoseeinteilung der DGFDT erweitert wurde.

Die Patientengruppe charakterisierte obligatorisch das Vorliegen von Schmerzen im Bereich der Kiefermuskulatur (Diagnosegruppe 1 der RDC/TMD) und die Diagnose der Okklusopathie (DGFDT) (Tabelle 3). Erkrankungen der Kiefergelenke konnten vorliegen, stellten jedoch kein Einschlusskriterium dar.

Die Probanden der Kontrollgruppe waren aufgrund der Symptom- und Beschwerdefreiheit keiner Diagnosegruppe zuzuordnen.

Tabelle 2: Klassifikationsschema nach den RDC/TMD [31]

<b>Gruppe 1</b>
Schmerzen im Bereich der Kiefermuskulatur
1a. Myofaszialer Schmerz
1b. Myofaszialer Schmerz mit eingeschränkter Kieferöffnung
<b>Gruppe 2</b>
Verlagerung des Discus articulares
2a. Diskusverlagerung mit Reposition bei Kieferöffnung
2b. Diskusverlagerung ohne Reposition mit eingeschränkter Kieferöffnung
2c. Diskusverlagerung ohne Reposition ohne eingeschränkte Kieferöffnung
<b>Gruppe 3</b>
Arthralgie, Arthritis, Arthrose
3a. Arthralgie
3b. Arthritis (oder aktivierte Arthrose) des Kiefergelenkes
3c. Arthrose des Kiefergelenkes

Tabelle 3: Diagnoseschema, von Ahlers und Jakstat entwickelt und in der Nomenklatur der DGFDT angewendet [6]

<b>Okklusopathie</b>	<b>Myopathie</b>	<b>Arthropathie</b>
Gestörte statische Okklusion	eine oder mehrere funktionelle Muskelgruppen	<b>Diskusverlagerung:</b>
Parafunktion: Pressen		<ul style="list-style-type: none"> <li>• mit Reposition</li> </ul>
Gestörte dynamische Okklusion		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ohne Reposition</li> </ul>
Parafunktion: Knirschen		<b>Arthrose:</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• aktiviert</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• inaktiv</li> </ul>
		<b>Kapsulitis</b>
		<b>Kondylusverlagerung:</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• nach kranial (Kompression)</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• nach kaudal (Distraktion)</li> </ul>
		<b>Kondylushypermobilität</b>
		<b>Kondylusluxation</b>

## 3.5 Versuchsdurchführung

### 3.5.1 Durchführung der Vorbereitung

Zur Herstellung der Registrierschablonen wurden entsprechende Vorbereitungen getroffen.

Von allen Studienpatienten wurden Situationsabformungen mittels Alginat (Xantalgin®) genommen. Der verwendete Rim-Lock-Abformlöffel wurde in seiner Größe so gewählt, dass alle Kieferareale umfasst waren und zwischen Zahn und Löffelwand der Platz von ca. 4–5 mm abzuschätzen war. Zeigte sich nach der durchgeführten Abformung ein geringerer Abstand zur Löffelwand, wurde diese mit einem entsprechend größeren Abformlöffel wiederholt. Um eine gute Haftung des Alginates am Abformlöffel sicherzustellen, wurde dieser mit einem



Alginatadhäsiv gleichmäßig dünn bestrichen. Vor jedem Gebrauch wurde das Alginatpulver in dem Vorratsbehälter gründlich durch Verrühren durchmischt. Unmittelbar vor dem Einbringen des Löffels wurden die Fissuren mit einer kleinen Portion Alginat ausgestrichen, um Luftblasen auf den Okklusalfächen zu vermeiden. Während des Abbindevorgangs war bei den Unterkieferabformungen der Mund weitestgehend geschlossen zu halten. Nach dem vollständigen Abbinden wurden die Abformungen jeweils ruckartig aus dem Patientenmund entfernt. Anschließend fand eine sorgfältige Kontrolle der Abformungen statt. Dabei wurde auf Fehler wie Risse oder Blasen geachtet, auf die richtige Lage der Zahnreihen im Löffel und auf Verziehungen oder Deformationen. Bei Mängeln fand eine Wiederholung der Abformung statt. Die Reinigung der Abformung erfolgte unter fließendem Wasser und mit einer 10-minütigen Desinfektion in einem Impresept-Tauchbad. Das Ausgießen der Abformungen erfolgte schnellstmöglich.

Von jedem Studienteilnehmer wurde ein Zentrikregistrat aus Beauty-Pink-Wachs mit Aluminium-Stops angefertigt. Die Wachsplatte wurde entsprechend der Zahnbogenform zurechtgeschnitten, im Wasserbad gleichmäßig erwärmt und anschließend an den Oberkiefer adaptiert. Bei der Zentrikbissnahme wurde der Unterkiefer des Patienten durch den Behandler behutsam am Kinn in einer Scharnierbewegung bis zum initialen, drucklosen okklusalen Kontakt gegen den Oberkiefer geführt. Ziel war es eine ventrokraniale und mittige Positionierung beider Kondylen zu erreichen.

Für die gelenkgerechte und schädelbezügliche Montage der Modelle in den Artikulator wurde von den Studienteilnehmern ein Gesichtsbogenregistrat erstellt.

In einem Dentallabor, das mit der Herstellung von IPR-Registrierschablonen langjährige Erfahrung hat, wurden Patientenmodelle aus Superhartgips gefertigt, wobei die Grundsätze der Gipsverarbeitung und der Modellherstellung standardmäßig eingehalten wurden. Die Modelle wurden entsprechend der Registrate patientenbezüglich im Split-Cast-System einartikuliert. Anschließend wurden die Registrierschablonen aus Autopolymerisaten hergestellt, wobei die Oberkieferschablone den Registrierstift und die Unterkieferschablone die Registrierplatte aufnahm. Beide Kunststoffplatten wurden so gearbeitet, dass sie dental abgestützt waren, aber dennoch die Okklusions- bzw. die Artikulationsbewegungen nicht behinderten.

## **3.5.2 Durchführung der intraoralen Stützstiftregistrierung mit dem IPR-System**

### **3.5.2.1 Gerätebeschreibung**

Das IPR-System (IPR-System GmbH, Oldenburg, übergegangen in IPR-System Dental Balance GmbH, Potsdam) besteht aus einem Sensor, der in einer Unterkieferregistrierschablone eingefasst und durch ein Anschlusskabel mit dem Messsystem verbunden ist (Abbildung 1). Die Messfläche der Sensorplatte hat die Form eines gleichseitigen Dreiecks mit einer Seitenlänge von 14 mm und besteht aus drei druckabhängigen Sensoren, über die die Lage des Stützstiftes sowie die Kieferschlusskraft registriert werden (Abbildung 2).

Nach Herstellerangaben erfolgten die Messungen der Adduktionspunkte 1 und 2 sowie die Stützstiftaufzeichnungen in Form von Protrusion, Laterotrusion nach rechts und links in einem Kraftintervall von 10–30 N. Der in der Studie verwendete Sensor ermöglichte, durch Einstellen am PC, die handgeführten Zentribissnahmen in einem sensiblen Modus unter 10 N durchzuführen.

Der Stützstift befindet sich in der Oberkieferregistrierschablone und ist in der sagittalen und vertikalen Dimension verstellbar. Die Position des Stützstiftes in der Höhe wird so gewählt, dass der Biss minimal gesperrt ist, das heißt der Patient weist bei exkursiven Bewegungen keinen Zahnkontakt auf. Einerseits soll lediglich der Stützstift auf der Sensorplatte die Führung übernehmen und eine lückenlose Aufzeichnung gewährleisten, andererseits wird das Flachbandkabel vor Beschädigungen geschützt. Die sagittale Position des Stützstiftes wird durch die Vorbissnahme festgelegt und orientiert sich damit an der Zentrik (Abbildung 3).

Die elektronischen Signale des Sensors werden durch einen Messverstärker computergerecht aufbereitet und zum PC übertragen. Der Messverstärker ist zusätzlich in der Lage die Infrarotsignale der Fernbedienung zu empfangen und gewährleistet die medizinische Sicherheit gegen Überspannung.

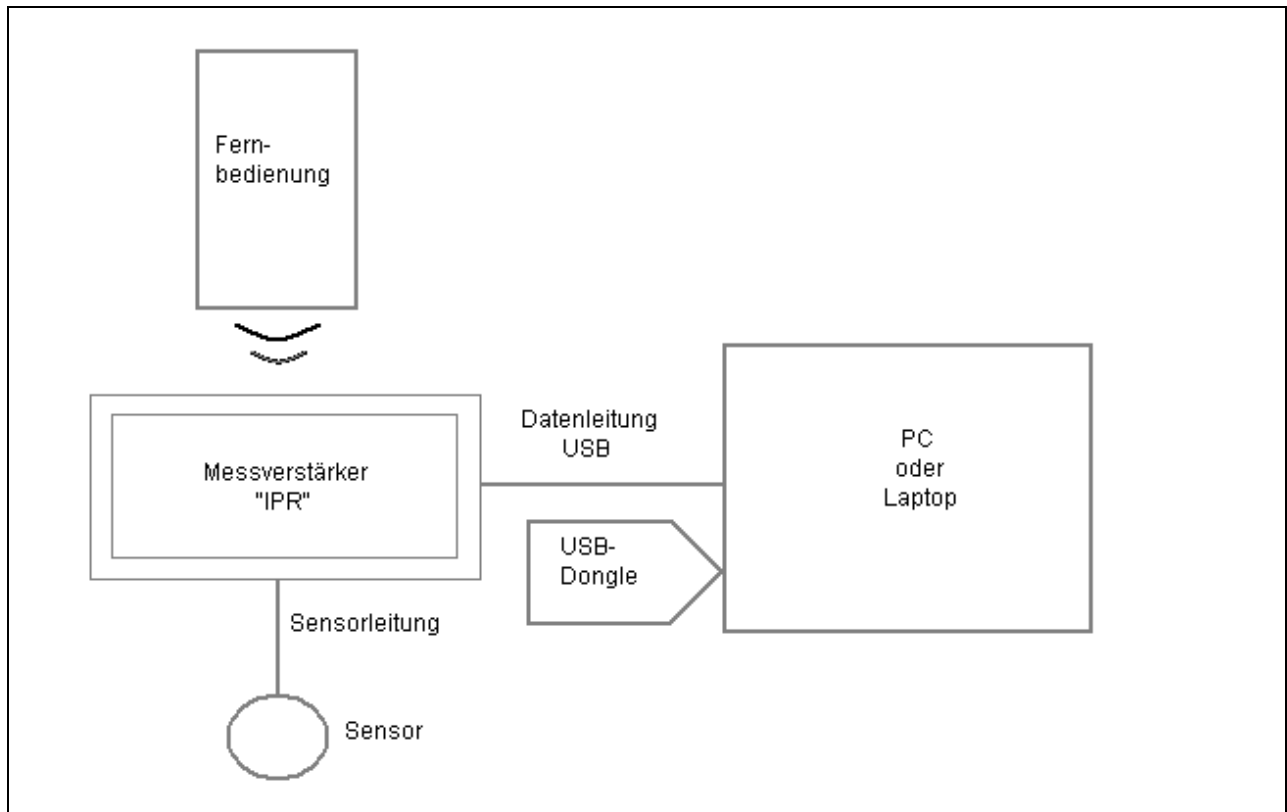


Abbildung 1: Aufbau des Messsystems

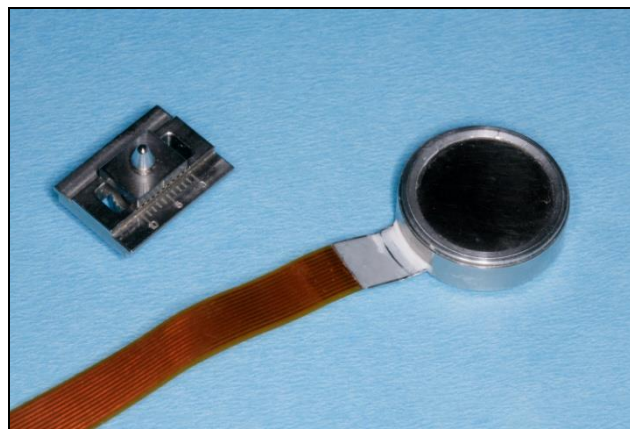


Abbildung 2: links: Schreibstift, rechts: Sensorplatte

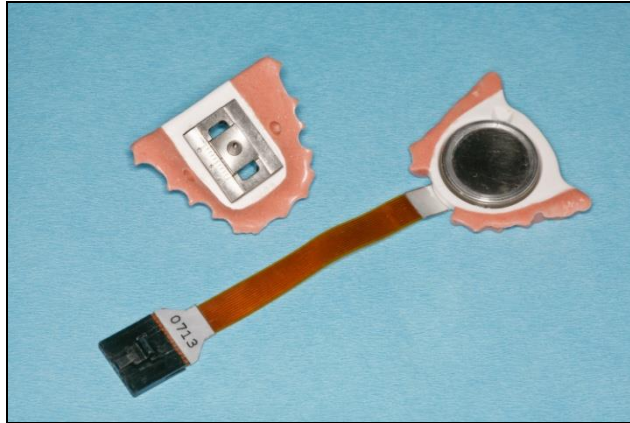


Abbildung 3: links: Oberkieferregistrierschablone mit Schreibstift, rechts: Unterkieferregistrierschablone mit Sensorplatte und Flachbandkabel

### 3.5.2.2 Messgenauigkeit des Messsystems

Die Messgenauigkeit des Messsystems liegt nach Herstellerangaben bei der Kraftmessung bei 0,1 N und bei der Lagebestimmung bei 0,1 mm.

Der maximale Fehler der Lagebestimmung soll ca.  $\pm 0,1$  mm betragen.

Die Messrate liegt im Bereich von 80 Messungen pro Sekunde. Als Voraussetzung dafür wurden die vom Hersteller empfohlenen Mindestanforderungen an die Systemkonfiguration (Hardware, Software, PC) eingehalten.

### 3.5.2.3 Versuchsaufbau

Die Patienten wurden auf einem speziellen Sitzmöbel positioniert – den OrthaS®-Stuhl (Abbildung 4), um eine aufrechte, physiologische, reproduzierbare Körperhaltung sicherzustellen.

Der Patient wurde entsprechend seiner Größe waagrecht auf einer ebenen Fläche in die gewünschte Sitzposition gebracht, wobei die Knie einen Winkel von ca.  $90^\circ$  beschrieben. Verschiedene Anlegepunkte stützten den Patienten und fixierten die eingestellte Position. Die Kopfstütze verhinderte eine Vor- oder Rückneigung des Kopfes (Abbildung 5). Der Anlegepunkt für die Rückenstütze war idealerweise der Mittelpunkt der Lordose im Bereich der Lendenwirbelsäule.



Abbildung 4: Patient auf OrthaS®-Stuhl positioniert



Abbildung 5: Frontansicht eines Patienten mit seitlichen Kopfstützen

Gegenüber dem Patienten wurde ein Messtisch so positioniert, dass sich ein Bildschirm zur visuellen Unterstützung in Augenhöhe befindet (Abbildung 6).



Abbildung 6: Messtisch mit Patientenmonitor zur visuellen Unterstützung des Patienten, Messverstärker für die Weiterverarbeitung und Laptop zur Speicherung der Messdaten

Die Registrierschablonen wurden vor dem Eingliedern in den Patientenmund entsprechend vorbereitet.

In der Oberkieferregistrierschablone wurde der Stützstift eingesetzt (Abbildung 7) und in der Unterkieferregistrierschablone wurde der Sensor in die dafür vorgesehene Aussparung eingefügt (Abbildung 8). Die Position des Stützstiftes wurde durch die Vorbissnahme (Zentrikregistrat) festgelegt und orientierte sich damit an der Zentrik. Da der Stützstift jedoch in der sagittalen und vertikalen Dimension verstellbar ist, ließ sich diese Position am Patienten individuell korrigieren. Es wurde darauf geachtet, dass der Biss durch den Stützstift minimal gesperrt ist und bei exkursiven Bewegungen lediglich der Stützstift auf der Sensorplatte ohne jeden Okklusionskontakt führt. Die Bisschablonen im Mund wurden beim Schließen und bei Gleitbewegungen ebenso auf einen ruhigen Sitz kontrolliert, wobei die Lippen bis zur Sichtbarkeit der Zahnreihen abgehoben wurden. Damit wurde fehlerhaftes Registrieren durch

Kippen der Schablone ausgeschaltet, eine lückenlose Aufzeichnung gewährleistet und darüber hinaus das Flachbandkabel vor Beschädigungen geschützt (Abbildung 9).

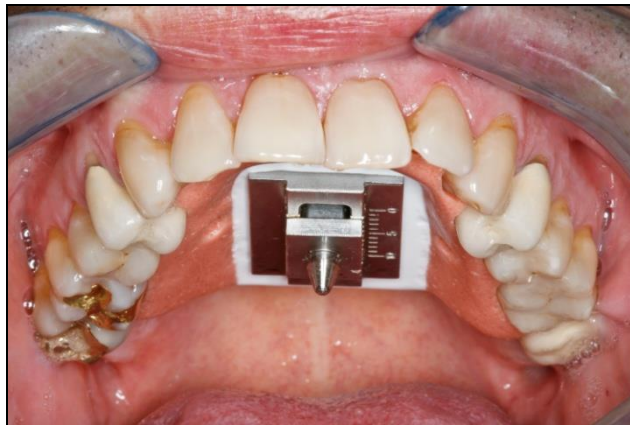


Abbildung 7: Oberkiefer mit Registrierschablone und Schreibstift



Abbildung 8: Unterkiefer mit Registrierschablone und Sensorplatte



Abbildung 9: Registrierschablonen im Patientenmund mit minimaler Bissperung ohne Beschädigung des Flachbandkabels



### 3.5.2.4 Durchführung der Messung

Vor dem Programmstart wurden die Registrierschablonen in den Patientenmund eingesetzt und mit dem Sensorkabel verbunden.

Zu Beginn der Messung musste der Proband durch leichtes Öffnen des Mundes den Stützstift vom Sensor lösen.

Als erste Messung wurde die habituelle Relation bzw. der Adduktionspunkt 1 erfasst, indem der Patient gebeten wurde so den Unterkiefer zum Oberkiefer zu führen, als ob er auf die Seitenzähne beißen würde. Im Anschluss daran wurde der Patient angeleitet, gezielte Unterkieferbewegungen zu vollziehen. Zunächst wurden fünf Protrusionsbahnen aufgezeichnet. Während der Messung wurde der Patient mit einem auditiven und visuellen Feedbacksystem unterstützt. Wird der Stützstift außerhalb des Messdreiecks geführt, ertönt ein Warnton. Bei einem zu hohen oder zu niedrigen Kraftaufwand wechselt der Anzeigebalken auf dem Bildschirm die Farbe von Grün nach Rot.

Im Anschluss daran wurde der Patient angewiesen Lateralbewegungen durchzuführen. Nach den Aufzeichnungen der grenzwertigen retralen Seitwärtsbewegungen folgten die freien Lateralbewegungen. Nach dieser neuromuskulären Deprogrammierung folgte die Aufzeichnung der Adduktionspunkte 2.

Anschließend wurden die Messungen der Zentrikbissnahmen, manuell geführt, von einem unerfahrenen und einem erfahrenen Behandler durchgeführt (Abbildung 10).

Die Untersucher führten dabei den Unterkiefer mit der rechten Hand in Scharnierbewegungen. Der Daumen des Behandlers wurde an der Labialfläche der Unterkieferfrontzähne angelegt und übte einen geringen bis mäßigen Druck nach posterior aus, um ein Protrudieren des Unterkiefers zu verhindern. Der Zeigefinger stützte sich quer am Kinn ab.





Abbildung 10: Zentrikbissnahme mit manueller Führung des Unterkiefers

Die folgenden Abbildungen 11–17 beschreiben einen Messzyklus:

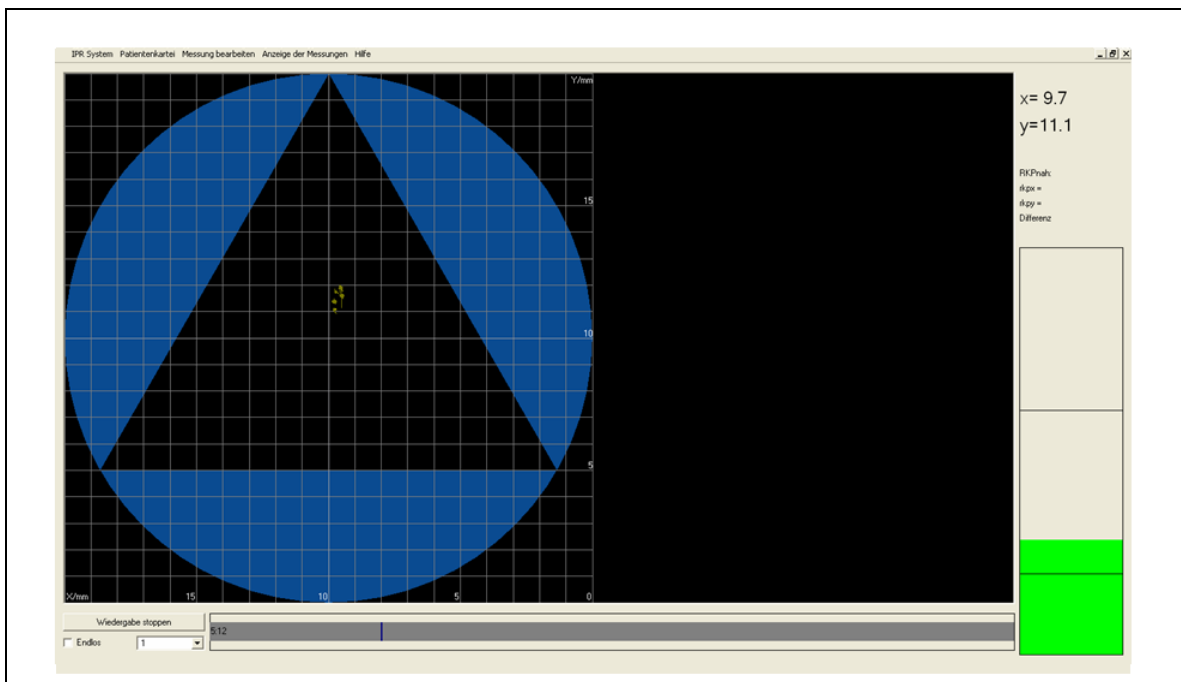


Abbildung 11: Messzyklus: fünf Messungen des Adduktionspunktes 1,  
rechts oben: Koordinaten der Messpunkte,  
rechts unten: grüner Balken visualisiert dem Patienten die optimale Kraftaufwendung

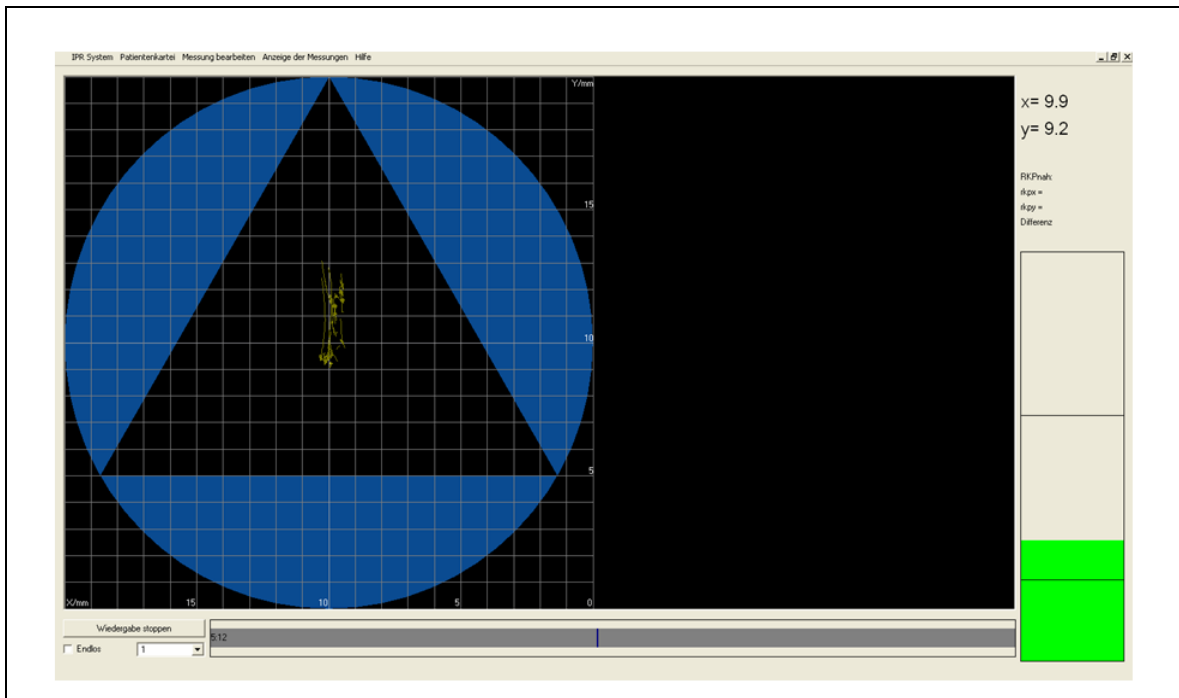


Abbildung 12: Messzyklus: Protrusionsbewegungen

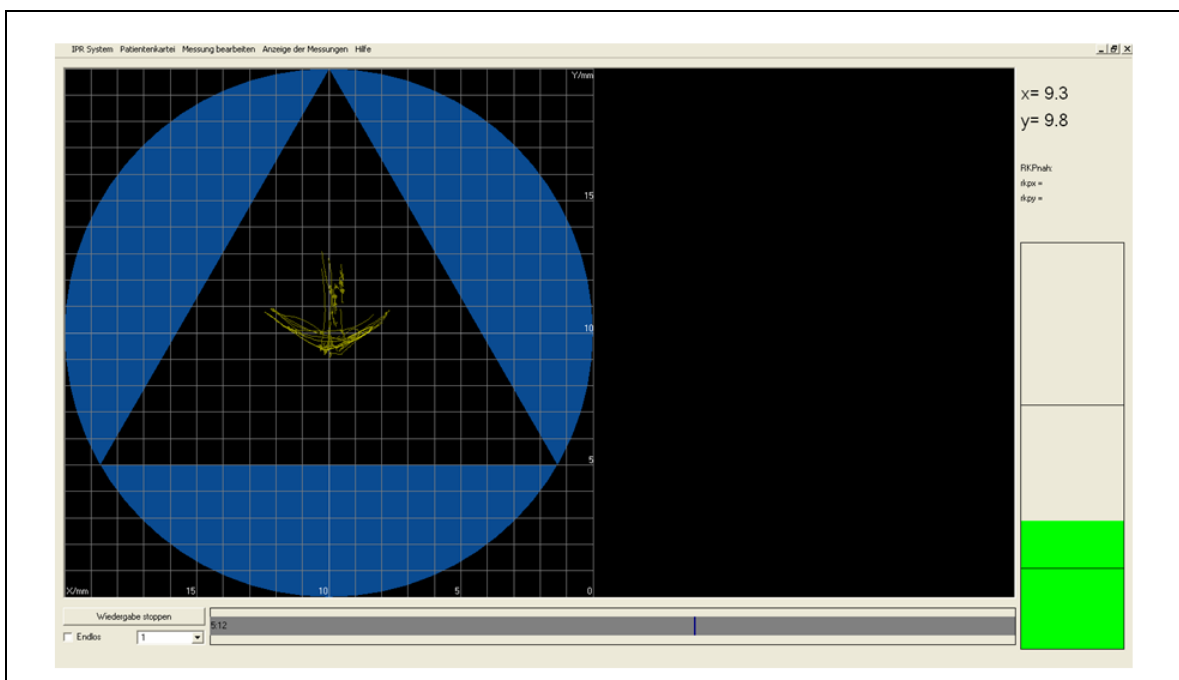


Abbildung 13: Messzyklus: Laterotrusionsbewegungen

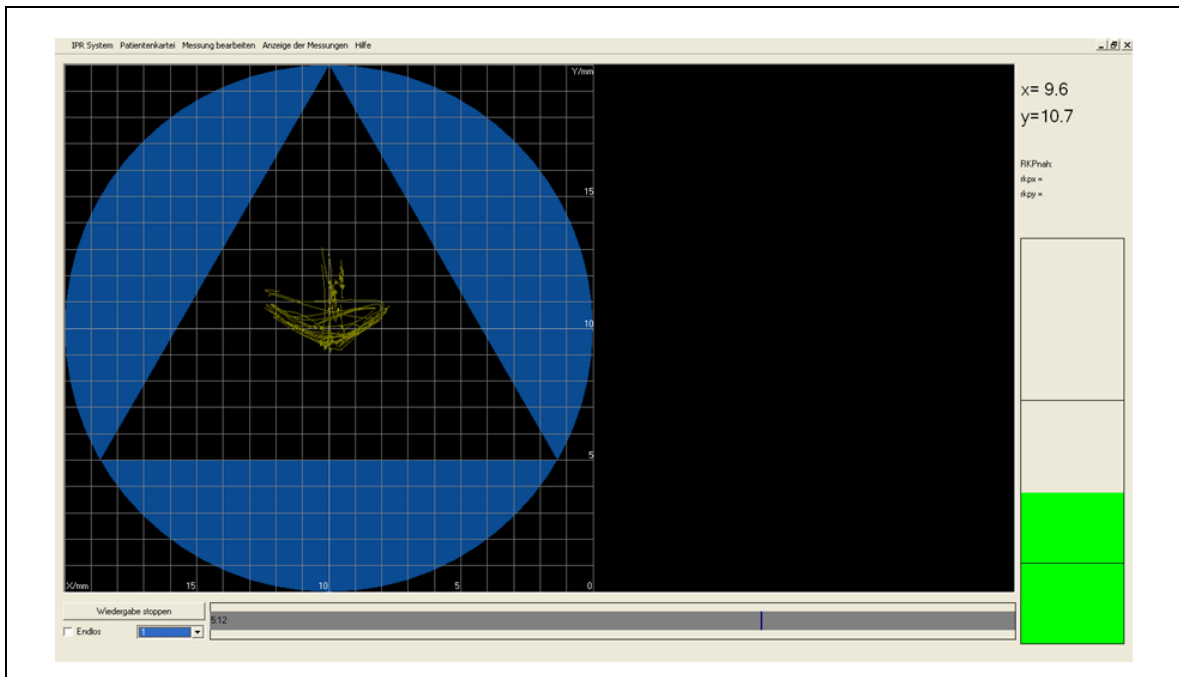


Abbildung 14: Messzyklus: freie Laterotrusionsbewegungen als muskuläre Deprogrammierung

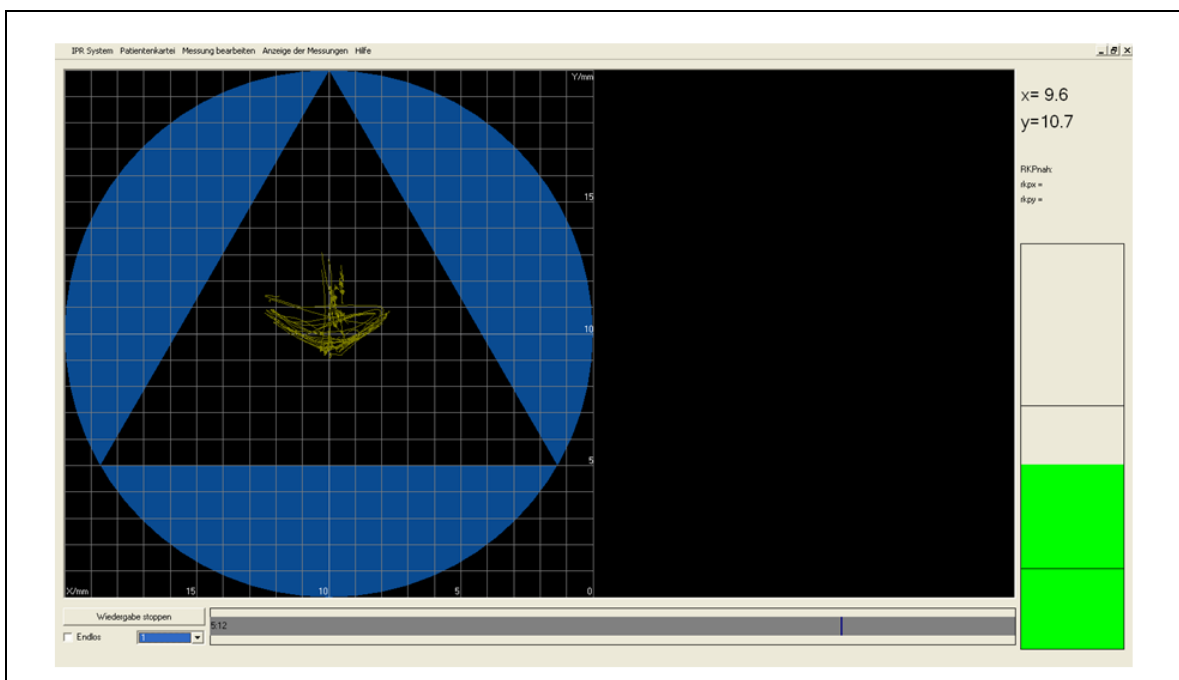


Abbildung 15: Messzyklus: fünf Messungen des Adduktionspunktes 2

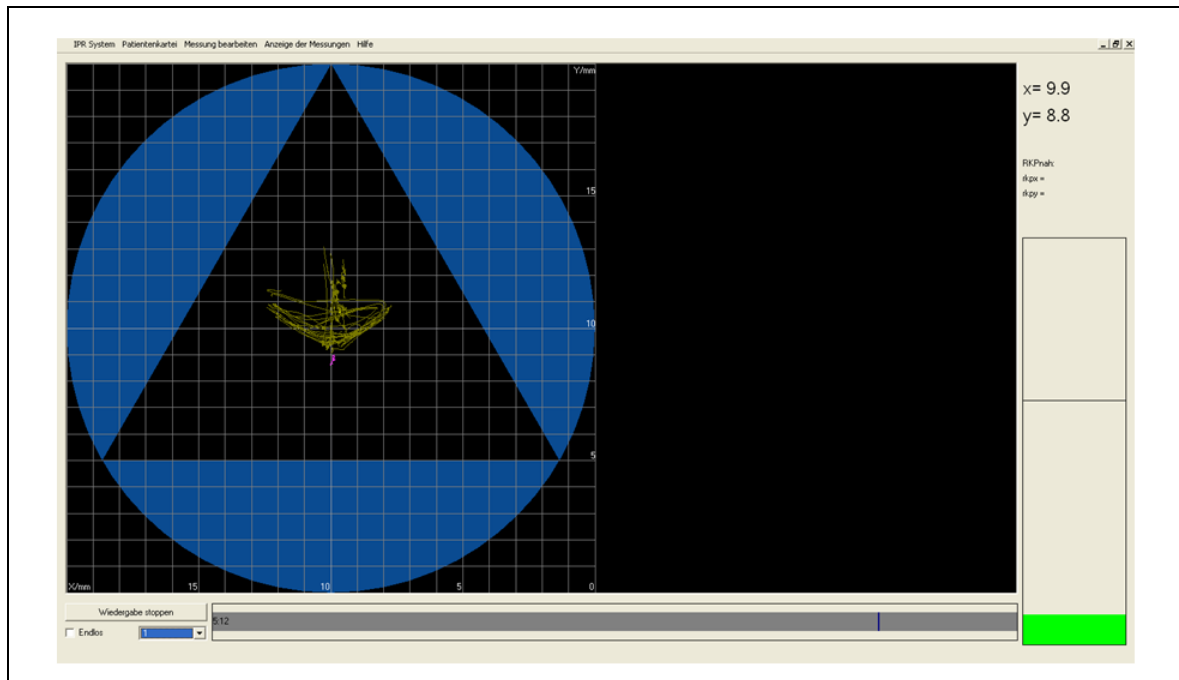


Abbildung 16: Messzyklus: jeweils fünf Messungen der Zentrikbissnahmen eines erfahrenen und eines unerfahrenen Behandlers

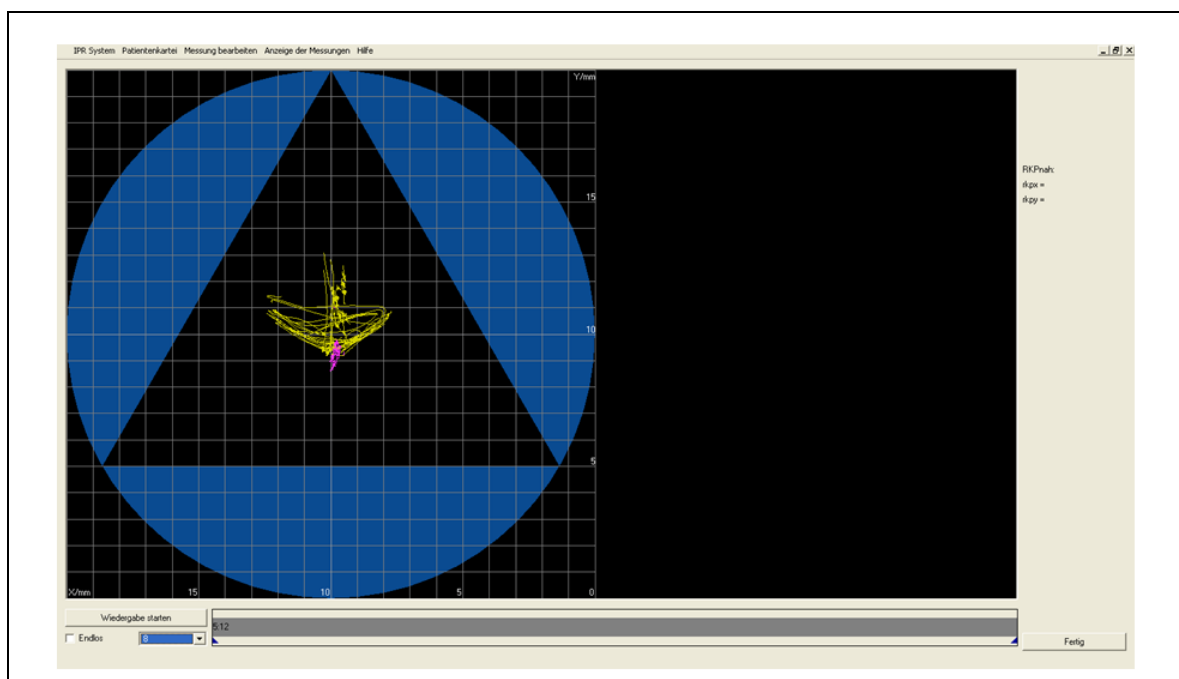


Abbildung 17: Messzyklus: fertige Messung

Die einzelnen Aufzeichnungen der Adduktionspunkte 1, 2 und der Zentrikbissnahmen wurden jeweils fünf Mal gemessen (Abbildung 18 und 19).

Die Darstellung der gewonnenen Werte erfolgte in einem zweidimensionalen Koordinatensystem und konnte somit synoptisch betrachtet, verglichen und ausgewertet werden.

Die ermittelten Punkte wurden mit x-Werten in transversaler und mit y-Werten in sagittaler Richtung verschlüsselt.

Die vormals genommene Handbissnahme zur Herstellung der Registrierschablonen ermöglicht die Zentrierung des Pfeilwinkels im Sensorfeld und entspricht der Verschlüsselung von 10/10 (transversal/sagittal). Demnach liegen y-Werte größer als 10 anteriorer und kleiner als 10 retraler in Bezug auf die erste Handbissnahme. Abweichungen in der Transversalen haben nach links größere x-Werte und nach rechts kleinere x-Werte zur Folge.

Die Messungen können in Echtzeit sowie verzögert durch Hilfe der Datenspeicherung im Nachhinein jederzeit abgespielt werden.

Vor und nach den Messungen fand eine Desinfektion des Registrierinstrumentariums gemäß den Herstellerangaben statt.

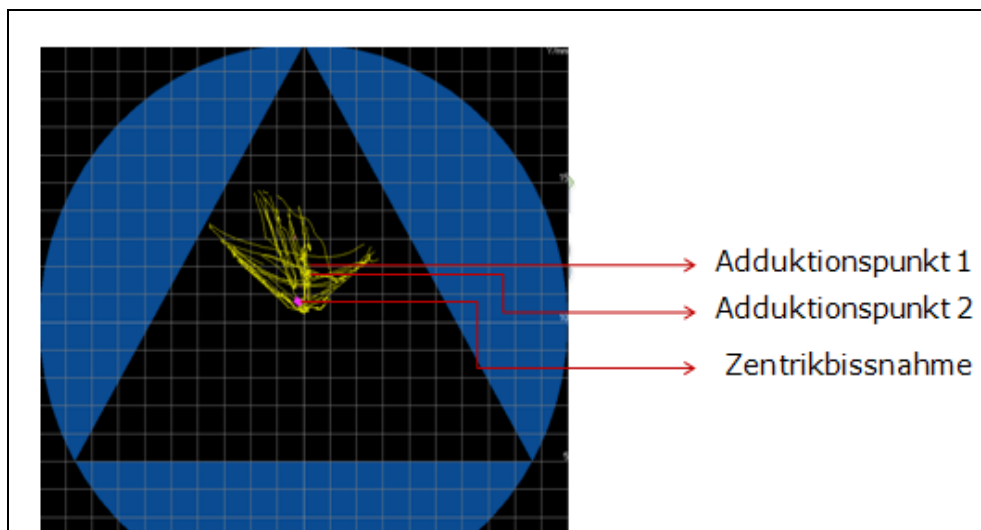


Abbildung 18: Patientenbeispiel 1 mit vollständiger Pfeilwinkelaufzeichnung und den einzelnen Methoden der Kieferrelationsbestimmung

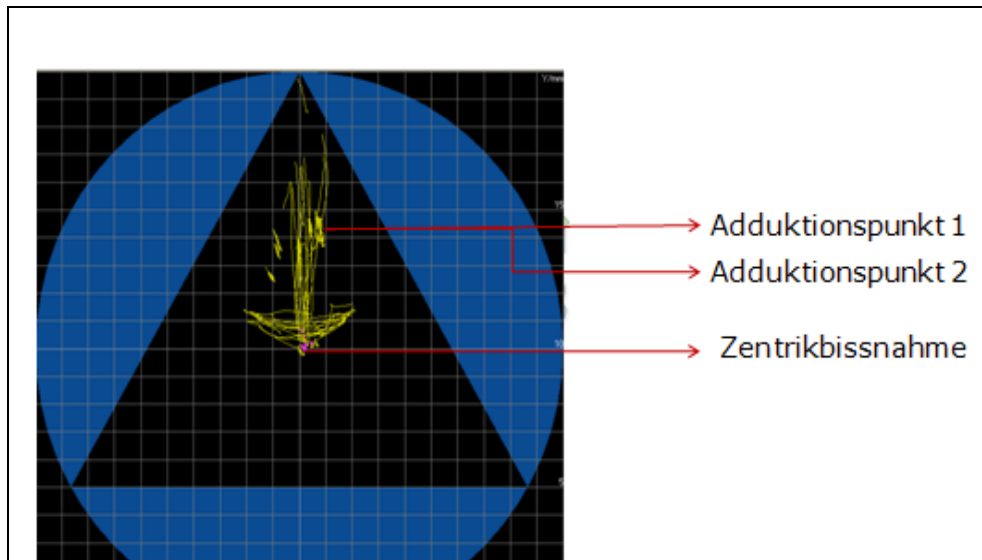


Abbildung 19: Patientenbeispiel 2 mit vollständiger Pfeilwinkelauflzeichnung und den einzelnen Methoden der Kieferrelationsbestimmung

### 3.6 Statistische Methodik

Zunächst wurden alle Stichproben auf Normalverteilung getestet (Kolmogorov-Smirnov-Test). Da eine Normalverteilung vorlag, wurden parametrische Auswertungen herangezogen.

Zur statistischen Analyse wurde der gepaarte T-Test als Gruppenvergleichstest verwendet. Es wurden jeweils zwei abhängige Stichproben verglichen, deren Variablen einander paarweise zugeordnet wurden.

Signifikante Unterschiede wurden bei einer Zufallswahrscheinlichkeit von  $p \leq 5\%$  definiert. Bei  $p \leq 0,1\%$  wurde von Hochsignifikanz gesprochen [49].

Die statistische Berechnung und Auswertung sowie die Erstellung der Tabellen und Grafiken erfolgte mittels IBM SPSS Statistics, GraphPad Prism® und Microsoft® Office Excel 2003.

#### Statistische Analyse

Die folgende Tabelle 4 führt die Wertepaare auf, die mithilfe des gepaarten T-Tests zur statistischen Analyse gegenübergestellt wurden.

Tabelle 4: Darstellung der Wertepaare, die zur statistischen Berechnung mittels des gepaarten T-Tests verwendet wurden, mit dem Ziel die Methoden-, Patienten- und Behandlerabhängigkeit zu untersuchen

<b>Ziel der Berechnung</b>	<b>Wertepaare</b>		
<b>Methodenabhängigkeit</b>	Adduktionspunkt 1	vs.	Adduktionspunkt 2
	Adduktionspunkt 1	vs.	Zentrik unerfahren
	Adduktionspunkt 1	vs.	Zentrik erfahren
	Adduktionspunkt 2	vs.	Zentrik unerfahren
	Adduktionspunkt 2	vs.	Zentrik erfahren
<b>Patientenabhängigkeit</b>	Adduktionspunkt 1 gesund	vs.	Adduktionspunkt 1 krank
	Adduktionspunkt 2 gesund	vs.	Adduktionspunkt 2 krank
	Zentrik unerfahren gesund	vs.	Zentrik unerfahren krank
	Zentrik erfahren gesund	vs.	Zentrik erfahren krank
<b>Behandlerabhängigkeit</b>	Zentrik unerfahren	vs.	Zentrik erfahren

## 4 Ergebnisse

Es ergab sich ein Aufbau der Stichprobe von 3 männlichen und 7 weiblichen Patienten, beziehungsweise 2 männlichen und 8 weiblichen Probanden. Die Patientengruppe wies einen Altersmittelwert von 50 Jahren auf, bei der Kontrollgruppe ergab sich ein Durchschnittswert von 43 Jahren. Beim Vergleich der Altersmittelwerte wird deutlich, dass von einer Vergleichbarkeit der Untersuchungsgruppen hinsichtlich des Lebensalters auszugehen war.

Gemäß der verschiedenen Messungen der Kieferrelationsbestimmung stellten sich die folgenden Ergebnisse dar. Entsprechend dem Versuchsaufbau wurden jeweils Unterschiede der einzelnen Methoden in sagittaler und transversaler Richtung verglichen. Zusätzlich wurde nach der Pathofunktion des Kauorgans und den unterschiedlichen Untersuchern differenziert.

### 4.1 Methodenabhängigkeit

#### 4.1.1 Vergleich von Adduktionspunkt 1 versus Adduktionspunkt 2

Wird der Adduktionspunkt 1 (ohne vorherige Stützstiftaufzeichnungen) dem Adduktionspunkt 2 (nach Stützstiftaufzeichnungen, neuromuskulär deprogrammiert) gegenübergestellt, ergibt sich weder in der sagittalen (y-Werte) noch in der transversalen Komponente (x-Werte) ein signifikanter Unterschied (gepaarter T-Test als Gruppenvergleichstest:  $p > 0,3$ ) (Abbildung 20).

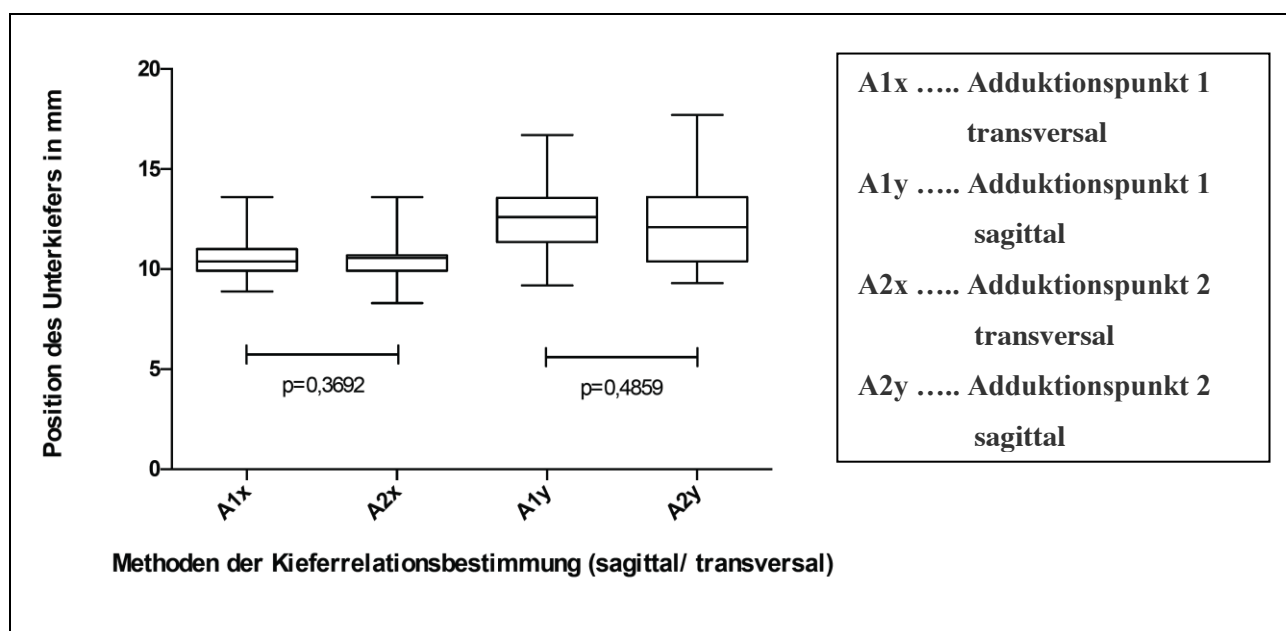


Abbildung 20: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 1 im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten des Adduktionspunktes 2, ohne signifikante Unterschiede



Der Adduktionspunkt 1 steht für die habituelle Kieferrelation des Patienten. Nach einer Pfeilwinkelaufzeichnung und der damit einhergehenden neuromuskulären Deprogrammierung ergaben sich keine signifikanten Differenzen.

#### 4.1.2 Vergleich von Adduktionspunkt 1 und 2 versus Zentrikbissnahmen

Im Vergleich der Adduktionspunkte mit den Zentrikbissnahmen zeigte sich, sowohl beim erfahrenen sowie beim unerfahrenen Behandler, ein hoch signifikanter Unterschied der y-Werte, d. h. der sagittalen Komponente (gepaarter T-Test als Gruppenvergleichstest:  $p < 0,0001$ ). Die Adduktionspunkte lagen jeweils weiter anterior gegenüber der Zentrikbissnahme. Die Unterschiede in Millimeter sind unter „4.7 Sagittaler Vergleich der Kieferrelationsmethoden“ aufgeführt.

Im transversalen Vergleich (x-Werte) gab es keinen signifikanten Unterschied (gepaarter T-Test als Gruppenvergleichstest:  $p > 0,3$ ).

Die folgenden Abbildungen 21–26 veranschaulichen diese Ergebnisse.

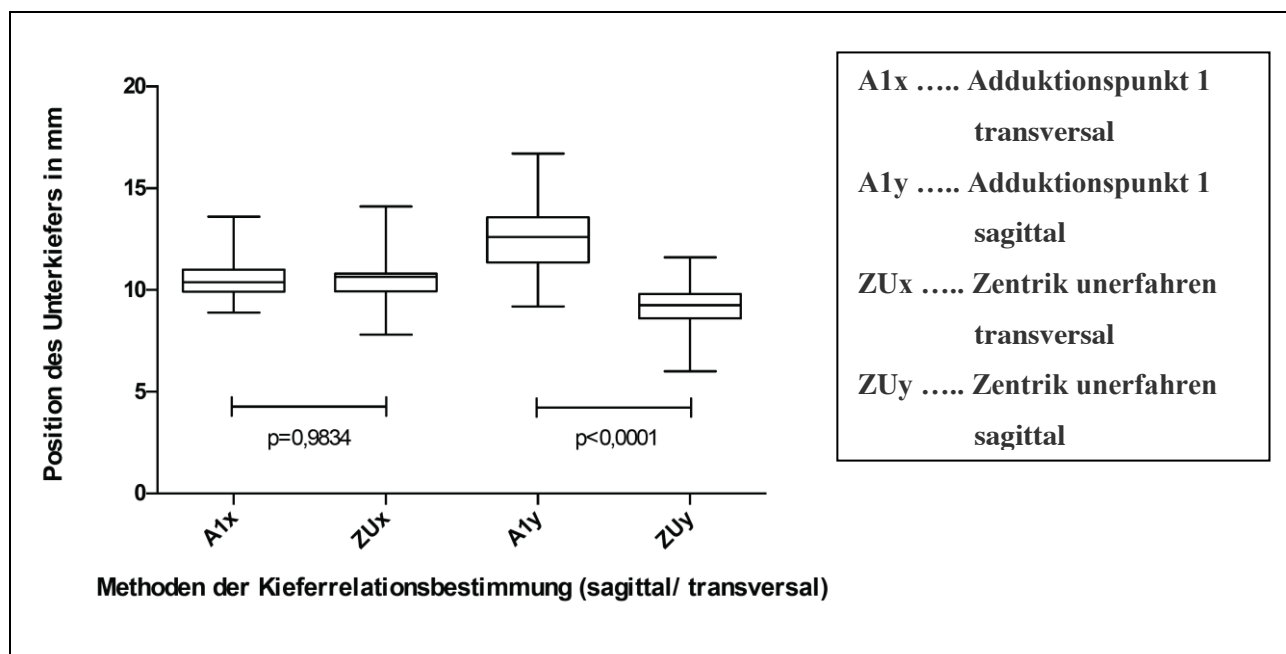


Abbildung 21: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 1 im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der manuellen Kieferrelationsbestimmung des unerfahrenen Untersuchers, mit hoch signifikanten Unterschieden der sagittalen Werte

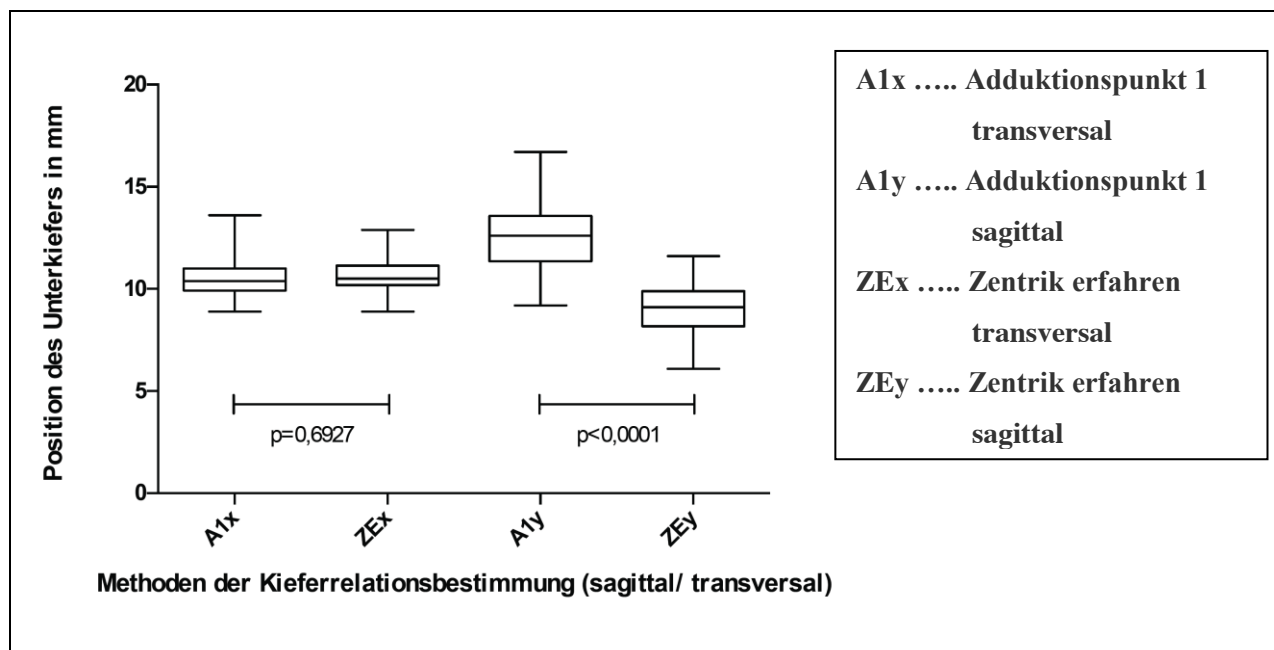


Abbildung 22: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 1 im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der manuellen Kieferrelationsbestimmung des erfahrenen Untersuchers, mit hoch signifikanten Unterschieden der sagittalen Werte

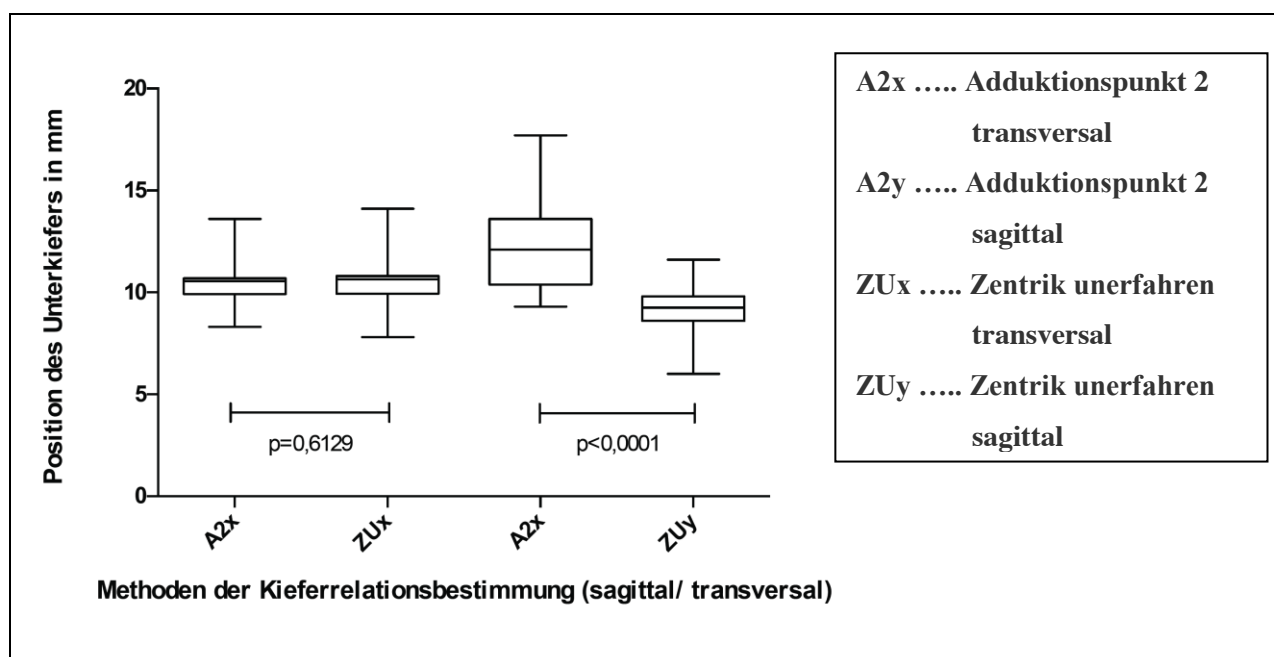


Abbildung 23: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 2 im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der manuellen Kieferrelationsbestimmung des unerfahrenen Untersuchers, mit hoch signifikanten Unterschieden der sagittalen Werte

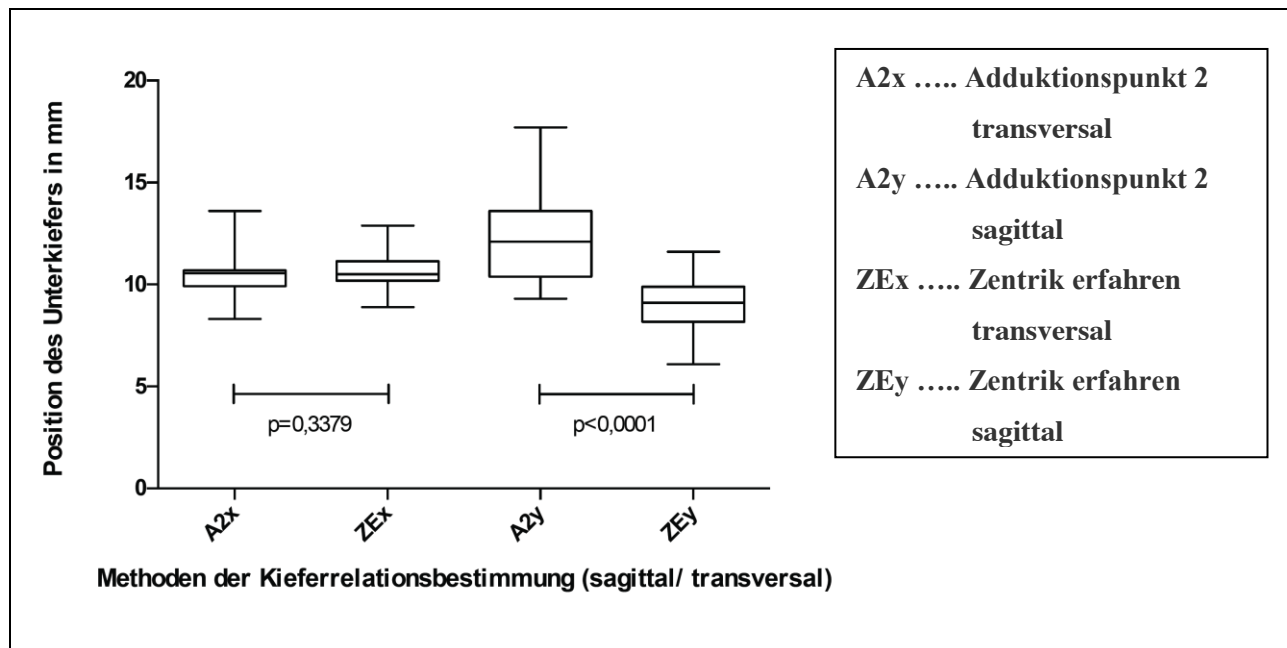


Abbildung 24: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 2 im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der manuellen Kieferrelationsbestimmung des erfahrenen Untersuchers, mit hoch signifikanten Unterschieden der sagittalen Werte

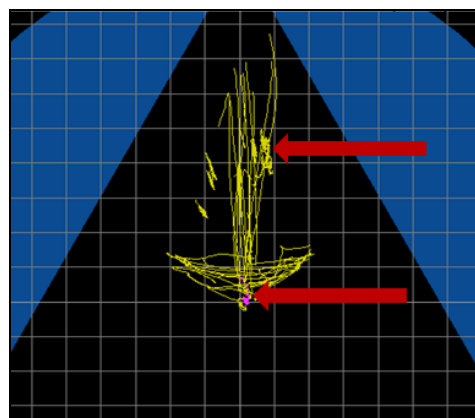


Abbildung 25: Patientenbeispiel 1 mit signifikantem Unterschied zwischen Adduktionspunkten (oberer Pfeil) und Zentrikbissnahmen (unterer Pfeil)

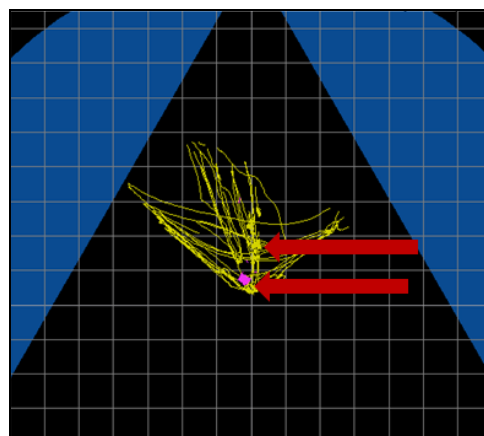


Abbildung 26: Patientenbeispiel 2 mit signifikantem Unterschied zwischen Adduktionspunkten (oberer Pfeil) und Zentrikbissnahmen (unterer Pfeil)

## 4.2 Patientenabhängigkeit

In der Gegenüberstellung von funktionsgesunden Probanden und funktionskranken Patienten ergeben sich weder im Vergleich der Position der einzelnen Adduktionspunkte noch in Bezug auf die Position der Zentrikbissnahmen signifikante Unterschiede. Eine Erkrankung im Bereich der Kaumuskulatur, der Kiefergelenke oder eine Okklusopathie hatte somit keinen Einfluss auf die Lage der angewandten Kieferrelationsmethoden (Abbildungen 27–30).

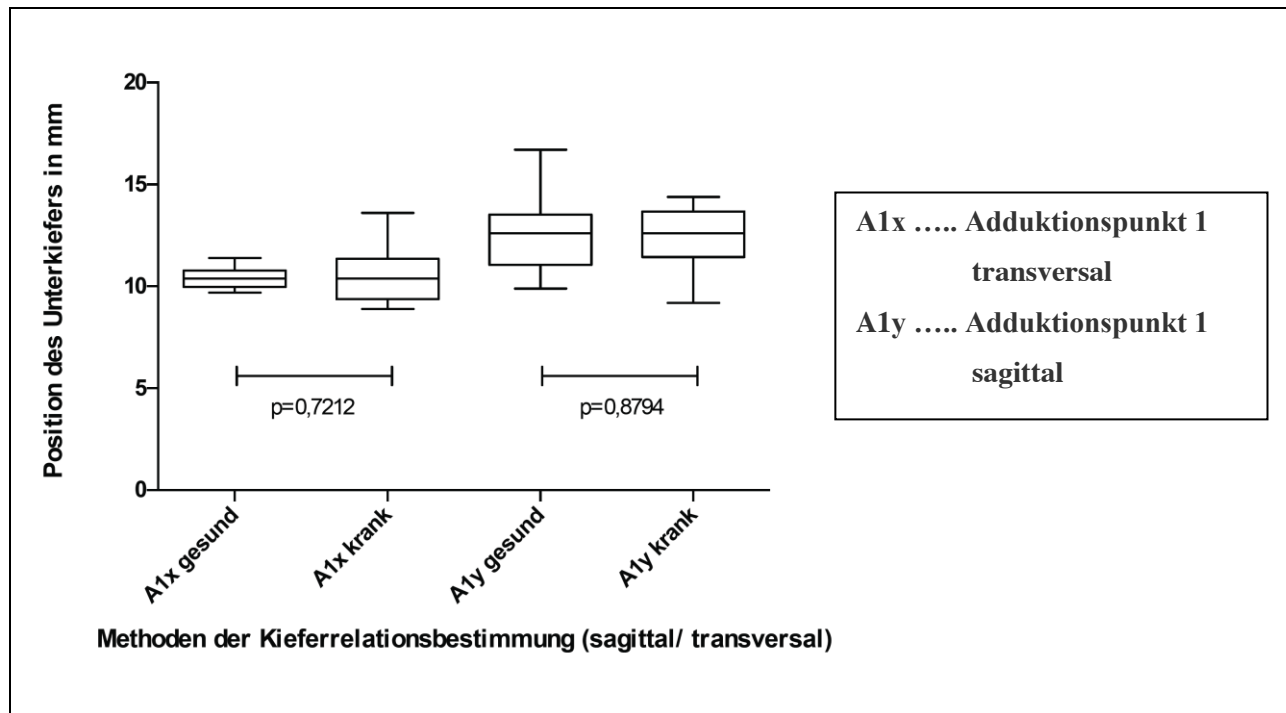


Abbildung 27: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 1 bei gesunden Probanden im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten des Adduktionspunktes 1 bei kranken Patienten, ohne signifikante Unterschiede

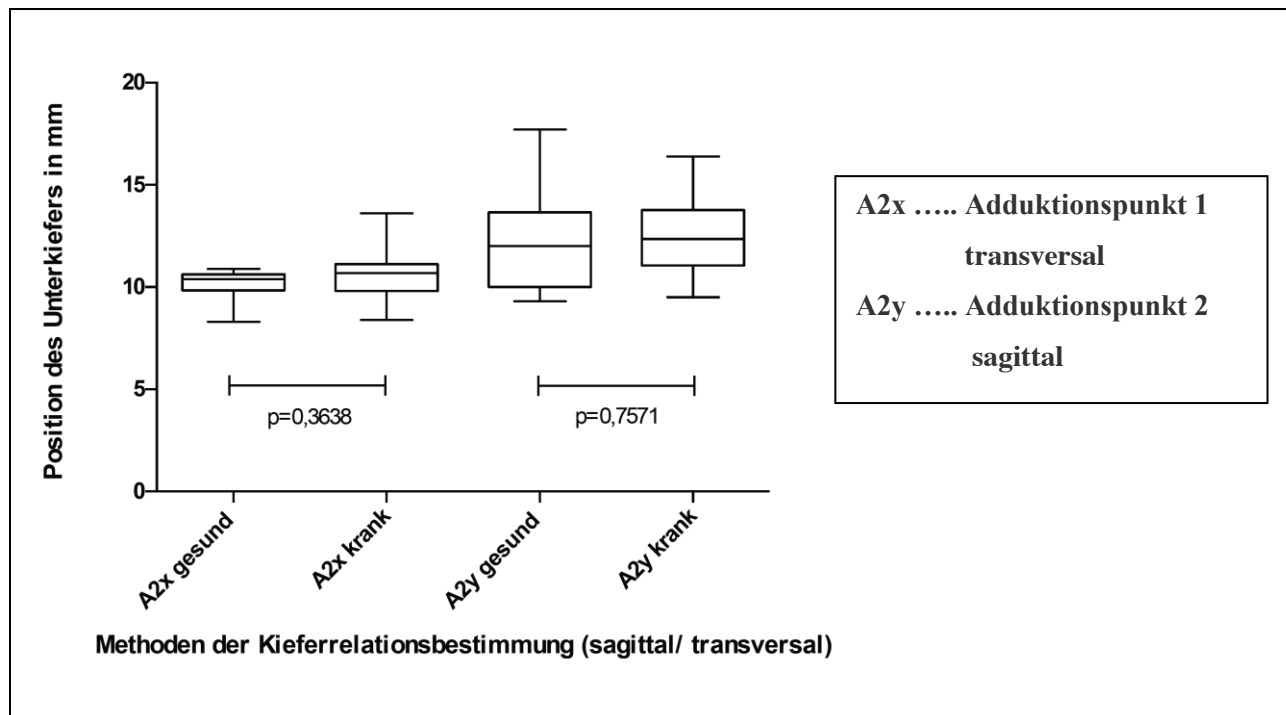


Abbildung 28: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte des Adduktionspunktes 2 bei gesunden Probanden im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten des Adduktionspunktes 2 bei kranken Patienten, ohne signifikante Unterschiede

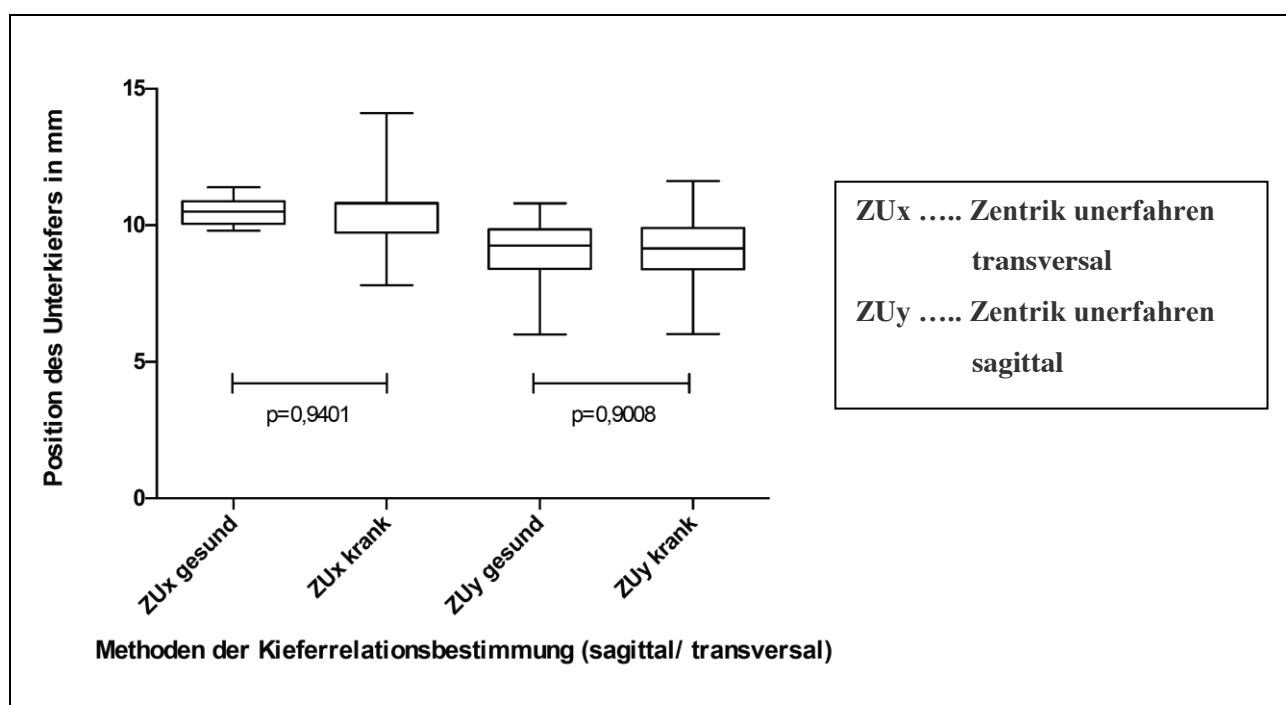


Abbildung 29: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte der manuellen Kieferrelationsbestimmung des unerfahrenen Untersuchers bei gesunden Probanden im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der manuellen Kieferrelationsbestimmung des unerfahrenen Untersuchers bei kranken Patienten, ohne signifikante Unterschiede

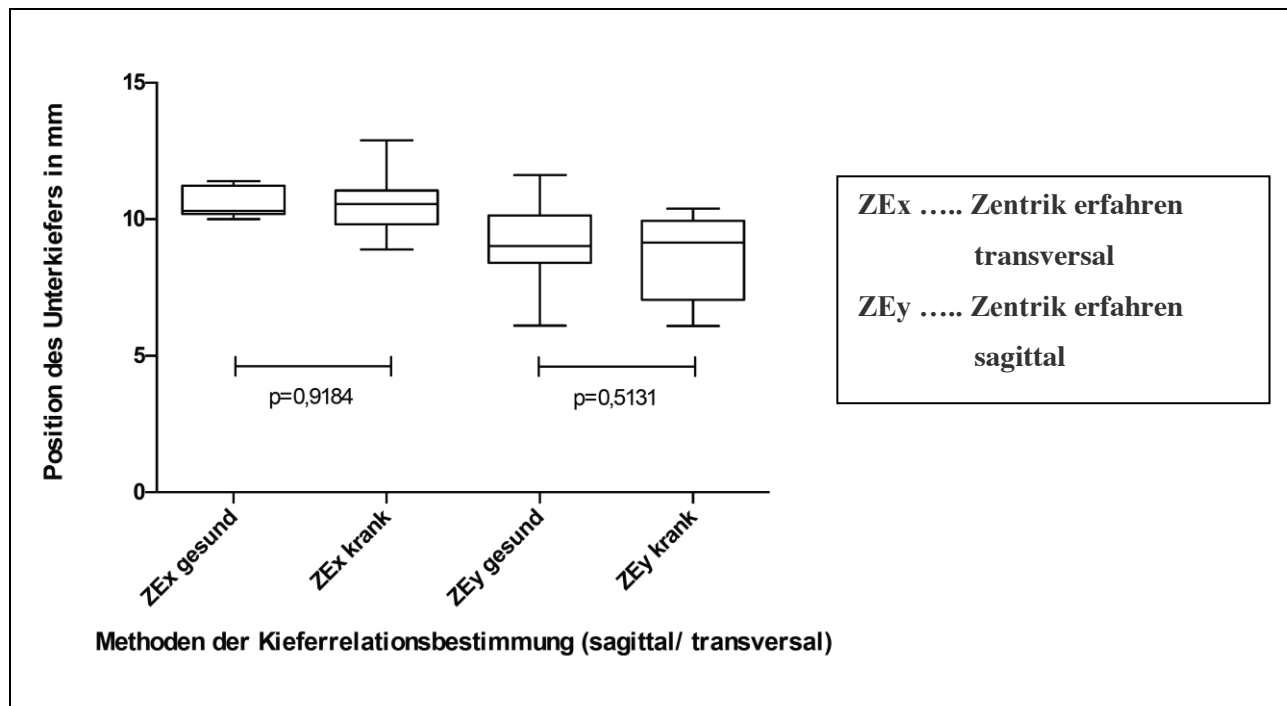


Abbildung 30: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte der manuellen Kieferrelationsbestimmung des erfahrenen Untersuchers bei gesunden Probanden im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der manuellen Kieferrelationsbestimmung des erfahrenen Untersuchers bei kranken Patienten, ohne signifikante Unterschiede

### 4.3 Behandlerabhängigkeit

Im Vergleich der beiden Zahnärzte, die sich im Erfahrungsstand unterschieden, ergaben sich keine signifikanten Differenzen in der Position der Zentrik (transversal:  $p = 0,7058$ ; sagittal:  $p = 0,4521$ ) (Abbildung 31).

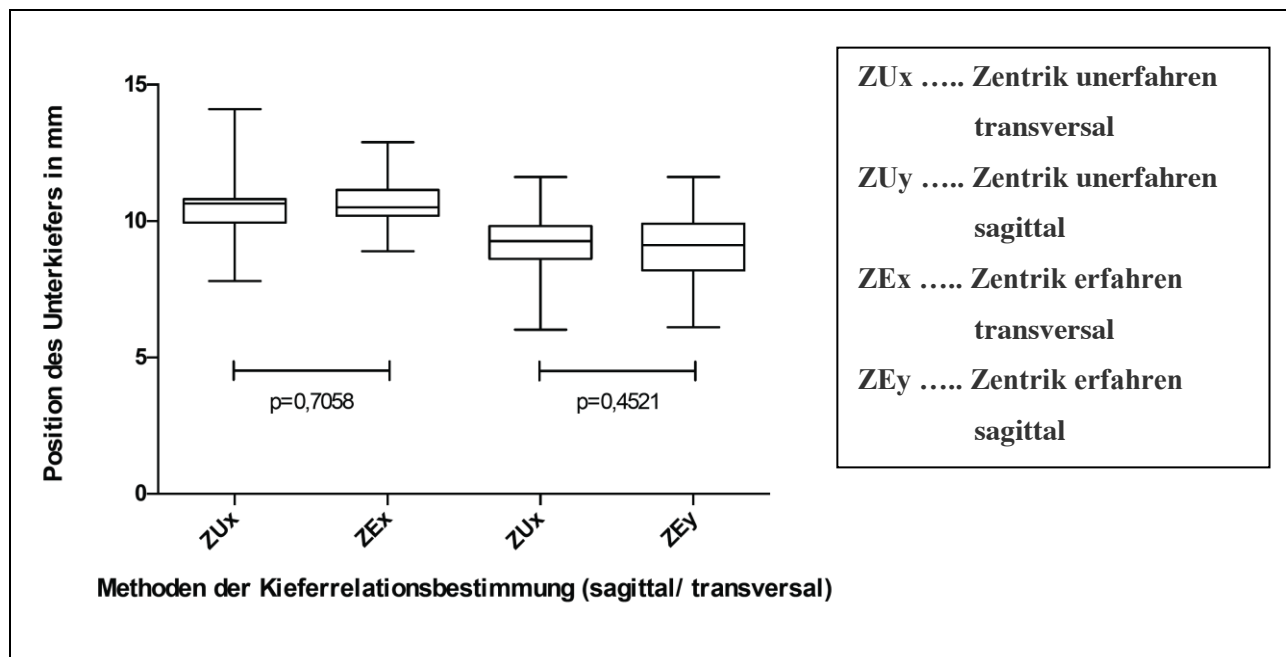


Abbildung 31: Boxplot der sagittalen und transversalen Werte der Zentrikbissnahme des erfahrenen Behandlers im Vergleich zu den sagittalen und transversalen Werten der Zentrikbissnahme des unerfahrenen Behandlers, ohne signifikante Unterschiede

### 4.4 Streuung

Für die Darstellung der Streuung der einzelnen Methoden der Kieferrelationsbestimmung wurden die Mittelwerte der Standardabweichungen vergleichend gegenübergestellt.

Die folgende Tabelle 5 und das nachfolgende Diagramm (Abbildung 32) lassen auf den ersten Blick erkennen, dass funktionskranke Patienten tendenziell in allen Methoden der Kieferrelationsbestimmung jeweils eine höhere Streuung aufweisen als funktionsgesunde Probanden.

Tabelle 5: Ergebnisse der sagittalen und transversalen Werte zur Streuung der einzelnen Methoden der Kieferrelationsbestimmung in Millimeter als Mittelwerte der Standardabweichung. Im jeweiligen Vergleich der einzelnen Methoden zur Kieferrelationsbestimmung weisen funktionsgestörte Patienten höhere Werte der Streuung auf

		<b>Adduktionspunkt 1</b>	<b>Adduktionspunkt 2</b>	<b>Zentrik unerfahren</b>	<b>Zentrik erfahren</b>
<b>gesund</b>	<b>transversal</b>	<b>0,12 mm</b>	<b>0,25 mm</b>	<b>0,16 mm</b>	<b>0,14 mm</b>
	<b>sagittal</b>	<b>0,36 mm</b>	<b>0,31 mm</b>	<b>0,16 mm</b>	<b>0,12 mm</b>
<b>krank</b>	<b>transversal</b>	<b>0,23 mm</b>	<b>0,32 mm</b>	<b>0,21 mm</b>	<b>0,25 mm</b>
	<b>sagittal</b>	<b>0,39 mm</b>	<b>0,64 mm</b>	<b>0,22 mm</b>	<b>0,21 mm</b>

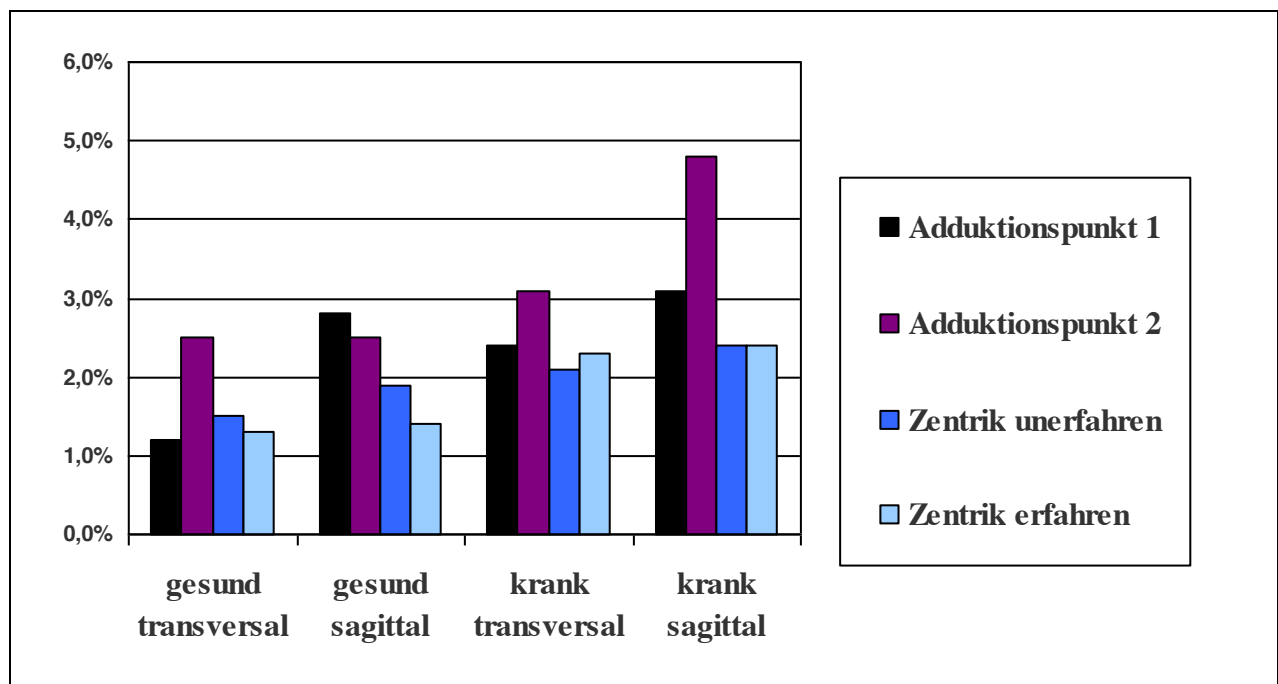


Abbildung 32: Grafische Darstellung der sagittalen und transversalen Werte zur Streuung der einzelnen Methoden der Kieferrelationsbestimmung als Standardabweichung in Prozent. Funktionsgestörte Patienten weisen höhere Werte der Streuung auf, vor allem bei den Adduktionspunkten nach den Stützstiftaufzeichnungen (Adduktionspunkt 2)

Die Unterschiede, die hinsichtlich der Streuung festgestellt wurden, werden im Nachfolgenden beschrieben.

Bei der genaueren Betrachtung zeigt sich im Vergleich der Adduktionspunkte tendenziell eine größere Streuung der Schließpositionen nach neuromuskulärer Deprogrammierung durch die Pfeilwinkelaufzeichnung, sprich der Adduktionspunkte 2, mit Ausnahme der sagittalen Werte



bei den gesunden Probanden. Hierbei ist eine tendenziell geringfügig größere Streuung des Adduktionspunktes 1 in der sagittalen Dimension zu verzeichnen.

Tendenziell hoch ist die Streuung der Adduktionspunkte 2 bei den funktionskranken Patienten, vor allem in der Sagittalen.

Die Zentrikbissnahmen streuen sowohl beim unerfahrenen als auch beim erfahrenen Behandler tendenziell vergleichbar stark in der transversalen wie in der sagittalen Dimension. Die Adduktionspunkte hingegen weisen tendenziell größere Streuungswerte in der Sagittalen auf.

In dem Vergleich der Adduktionspunkte mit der Zentrikbissnahme wies die neuromuskulär bestimmte Unterkieferlage vor allen in der Sagittalen eine tendenziell höhere Streuung als die handgeführte Kieferrelationsbestimmung auf.

#### **4.5 Pfeilwinkel**

Die Aufzeichnung der Pfeilwinkel mithilfe der Stützstiftregistrierung unterschied sich in der Koordination des Bewegungsablaufes zwischen den funktionskranken Patienten und den funktionsgesunden Probanden. So wiesen vier von zehn funktionskranken Patienten keine gerichteten Protrusions- und Laterotrusionsbewegungen auf. Bei den gesunden Probanden hatte lediglich ein Studienteilnehmer Schwierigkeiten den gotischen Bogen zu zeichnen.

Die grafische Auswertung der Pfeilwinkel ergab vor allem Unterschiede in Bezug auf die Symmetrie der Symphysenbahnwinkel. In der Gruppe der funktionsgesunden Probanden lag bei neun von zehn Studienteilnehmern ein symmetrischer Pfeil vor (Abbildung 33). Im Gegensatz dazu wurde lediglich bei drei von zehn funktionskranken Patienten ein symmetrischer gotischer Bogen verzeichnet (Abbildung 34).

Die Form der Pfeilspitze differierte kaum zwischen den Gruppen. So wiesen nur zwei funktionskranke Patienten und ein funktionsgesunder Proband eine runde Pfeilspitze auf.

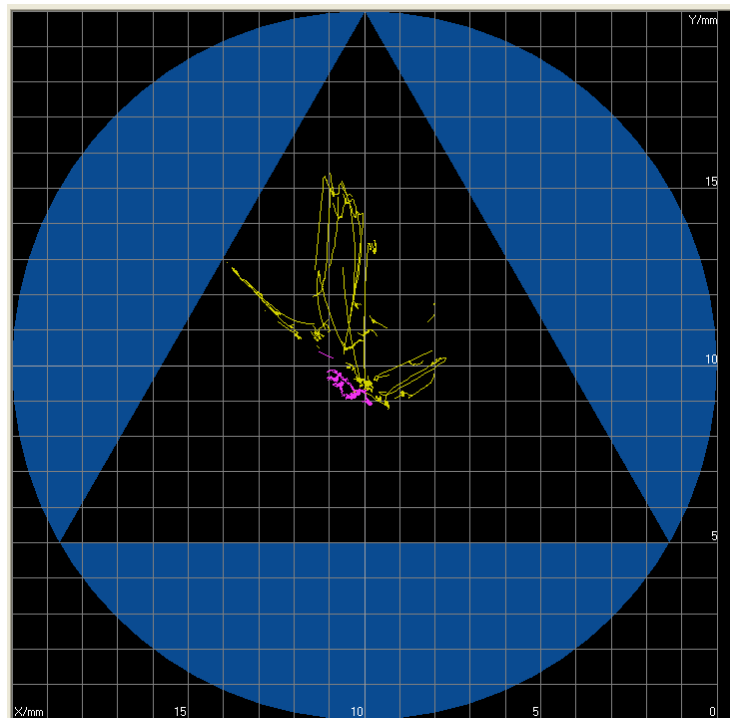


Abbildung 33: Patientenbeispiel mit Koordinationsschwierigkeiten und asymmetrischem Pfeilwinkel

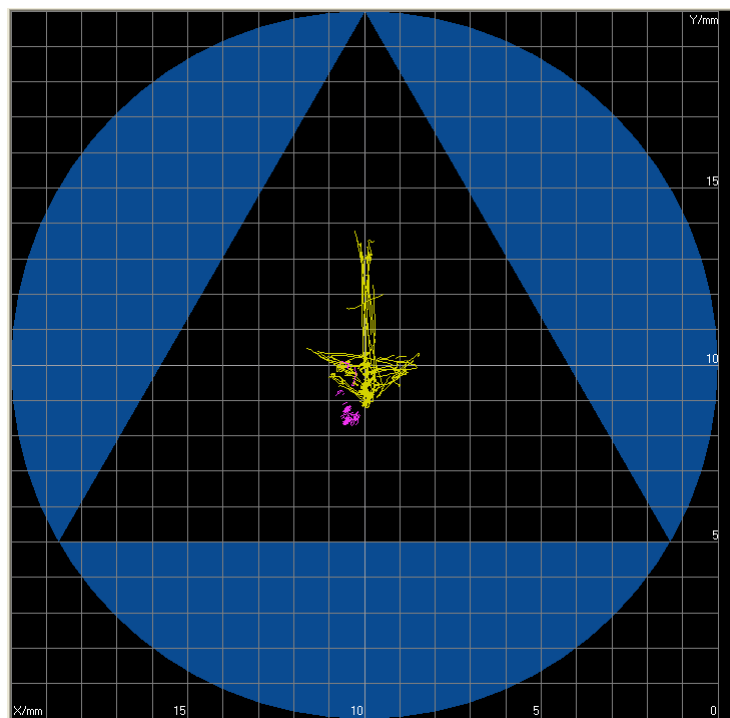


Abbildung 34: Probandenbeispiel ohne Koordinationsschwierigkeiten und symmetrischem Pfeilwinkel

#### 4.6 Seitenabweichung der einzelnen Kieferrelationsmethoden

Die nachfolgende Tabelle 6 lässt erkennen, dass die einzelnen Methoden zur Kieferrelationsbestimmung im Vergleich nur sehr geringe Seitenabweichungen (siehe Mittelwert) aufweisen. Da die jeweilige Standardabweichung entsprechend größere Werte zeigt, ist festzuhalten, dass bei keiner Methode zur Kieferrelationsbestimmung eine mediolaterale Komponente besteht.

Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der Messwertdifferenzen der verschiedenen Methoden zur Kieferrelationsbestimmung in der Transversalen

<b>Vergleich der transversalen Ergebnisse (x-Werte)</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
Differenz Zentrik erfahren vs. Zentrik unerfahren	-0,1 mm	± 0,8 mm
Differenz Adduktionspunkt 1 vs. Adduktionspunkt 2	0,1 mm	± 0,6 mm
Differenz Adduktionspunkt 1 vs. Zentrik erfahren	-0,1 mm	± 0,8 mm
Differenz Adduktionspunkt 2 vs. Zentrik erfahren	-0,2 mm	± 0,9 mm
Differenz Adduktionspunkt 1 vs. Zentrik unerfahren	0,0 mm	± 1,0 mm
Differenz Adduktionspunkt 2 vs. Zentrik unerfahren	-0,1 mm	± 1,2 mm

#### 4.7 Sagittaler Vergleich der Kieferrelationsmethoden

Im Folgenden und in Tabelle 7 werden die sagittalen Unterschiede zwischen den Adduktionspunkten und den manuell geführten Zentribissnahmen vorgestellt.

Tabelle 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Messwertdifferenzen der Adduktionspunkte und manuellen Zentribissnahmen in der Sagittalen

Vergleich der sagittalen Ergebnisse (y-Werte)	Mittelwert	Standardabweichung
Differenz Adduktionspunkt 1 vs. Zentrik erfahren	3,6 mm	±1,9 mm
Differenz Adduktionspunkt 1 vs. Zentrik unerfahren	3,5 mm	±1,7 mm
Differenz Adduktionspunkt 2 vs. Zentrik erfahren	3,4 mm	±2,7 mm
Differenz Adduktionspunkt 2 vs. Zentrik unerfahren	3,2 mm	±2,5 mm

Bei der Registrierung der neuromuskulär bestimmten Unterkieferhaltung vor den Stützstiftbewegungen (Adduktionspunkt 1) betragen die Differenzen zur handgeführten Kieferrelationsbestimmung des erfahrenen Behandlers  $3,6 \pm 1,9$  mm und  $3,5 \pm 1,7$  mm zum unerfahrenen Behandler.

Vergleichbare Werte wurden nach den Stützstiftbewegungen, das heißt nach der neuromuskulären Deprogrammierung ermittelt. Der danach gemessene Adduktionspunkt 2 wies zur manuell durchgeführten Kieferrelationsbestimmung des erfahrenen Behandlers eine Differenz von  $3,4 \pm 2,7$  mm und zum unerfahrenen Behandler  $3,2 \pm 2,5$  mm auf.

## 5 Diskussion

An dieser Stelle sollen die einzelnen in dieser Studie untersuchten Methoden der Kieferrelationsbestimmung auf ihre Vorteile hinsichtlich der Reproduzierbarkeit und ihrer Unterkieferposition im Verhältnis zueinander verglichen und bewertet werden.

In der zahnärztlichen Praxis stellt sich die Frage, welche der verschiedenen Methoden zur Kieferrelationsbestimmung im Rahmen rekonstruktiver Maßnahmen und der Funktionsdiagnostik anzuwenden ist.

Die Methode sollte verlässlich und genau, von unerfahrenen Zahnärzten einfach durchzuführen sein und die korrekte Unterkiefer- bzw. Kondylenposition ermitteln.

Bei der Anforderung die korrekte bzw. „richtige“ Unterkieferlage zu bestimmen, wird die grundsätzliche Frage berührt, ob eine muskelorientierte habituelle Position, eine anatomisch definierte ligamentär begrenzende Position oder okklusionsbezogene Zuordnung, wenn dies eine Bezahnung oder Teilbezahnung zulässt, angestrebt werden soll.

Es stellt sich zudem die Frage, ob es die „richtige“ Kieferrelation gibt, oder nur eine, die der Patient schmerzfrei toleriert.

Der Einfluss des Funktionszustandes der Patienten auf die Wahl der Methode zur Kieferrelationsbestimmung soll in der nachfolgenden Betrachtung ebenso berücksichtigt werden.

### 5.1 Methodenkritik

Klinisch-experimentelle Untersuchungen sind immer mit gewissen Fehlermöglichkeiten belastet, die auch bei sorgfältiger Planung und Durchführung der Experimente nicht ganz auszuschließen sind.

Für die instrumentelle Bestimmung der Kieferrelation sind die korrekte Anfertigung der Registrierhilfen und der sichere Sitz im Patientenmund von großer Wichtigkeit.

Die vorbereitenden zahntechnischen Arbeitsschritte fanden in einem speziellen Dentallabor statt, das eine langjährige Erfahrung mit der Herstellung von IPR-Registrierschablonen aufweist.

Vor der Durchführung der Untersuchungen wurden die Registrierschablonen auf Passgenauigkeit auf dem Modell und im Munde des Patienten kontrolliert. Stellte sich der Sitz der

Registriergeräte als mangelhaft dar, wurden diese im Dentallabor nachgearbeitet bzw. neu angefertigt.

Es wurden nur optimal sitzende Registrierschablonen verwendet, die einen sehr guten Halt an den Zahnreihen im Ober- wie im Unterkiefer aufwiesen.

Die Stützstiftaufzeichnung mithilfe der IPR-Systems erfolgt wie bei allen mechanischen und den meisten in der Literatur beschriebenen elektronischen Registriergeräten nicht berührungslos. Durch kleinste reibende Kräfte können die Ergebnisse minimal, vor allem in Bewegung registriert, von der eigentlichen Patientensituation abweichen. Die in der vorliegenden Untersuchung gewonnenen Ergebnisse entstanden jedoch nicht aus dynamischen Unterkieferbewegungen auf der Registrierplatte, sondern lediglich durch Öffnungs- und Schließbewegungen des Unterkiefers. Demnach ist der Nachteil der reibenden Kräfte nicht ausschlaggebend. Ein minimales Verschieben der Registrierschablonen während der Messungen kann jedoch trotz sehr gut sitzender Schablonen nicht ganz ausgeschlossen werden.

Zudem wird der räumlichen Positionierung des Schreibstiftes und der Schreibplatte eine bedeutende Rolle zugeordnet [35].

Vor der eigentlichen Messung und Stützstiftaufzeichnung wurde in jedem einzelnen Falle die Funktionstüchtigkeit des IPR-Gerätes überprüft.

Die Untersuchungsperson wurde über den Ablauf der Messungen eingehend instruiert und angewiesen während der gesamten Dauer der Registrierung die Position des Kopfes an der Kopfstütze zu halten.

Zur Gewährleistung eines standardisierten Ablaufs der Messungen wurde ein genaues Untersuchungsprotokoll erstellt und auf dessen Einhaltung bei den Untersuchungen geachtet.

Darüber hinaus sind gewisse andere Probleme bei der Registrierung mithilfe des zentralen Stützstiftverfahrens bekannt [81, 115, 135–137, 142]. Das Tragen der Registrierschablonen ist für den Patienten ungewohnt. Die intraorale Apparatur kann neuromuskulär unwillkürliche Bewegungsabläufe stören und somit zu einer verspannten Kaumuskulatur führen. Eine Zwangshaltung des Unterkiefers bzw. eine habituelle mesialisierte Unterkieferlage können mögliche Folgen sein [142].

Das Tragen der Registriergeräte war bei diesen Untersuchungen nicht zu umgehen.

### **5.1.1 Zur Bissperrung**

In der vorliegenden Studie erfolgten die Aufzeichnungen mit den Registrierschablonen bei einer minimalen Bissperrung. Einerseits schließt die vertikale Sperrung jegliche Zahnkontakte infolge von exkursiven Bewegungen des Unterkiefers aus, andererseits wird das Flachbandkabel, das über die vorderen Inzisivi geführt wird, vor Beschädigungen geschützt.

Die Bissperrung an sich ist kein spezifisches Problem des bei dieser Untersuchung verwendeten IPR-Systems, sondern vielmehr der intraoralen Stützstiftregistrierung im Allgemeinen, da es ohne Sperrung nicht durchgeführt werden kann.

In einer Studie von Utz et al. (1994) [135] betrug die zur Stützstiftregistrierung erforderliche Bissperre im Durchschnitt 3,4 mm und überstieg damit die vertikale Kieferrelation der Ruhelage des Unterkiefers. Der erhöhte Mundöffnungswinkel in der Ausgangsposition stellt einen Nachteil dar, da dieser die Ergebnisse beeinflusst [135].

Marxkors stellte aufgrund eigener Untersuchungen fest, dass sich mit der Änderung der Vertikalrelation durch die Bissanhebung die Lage des Adduktionspunktes im Vergleich zur maximalen Interkuspitation nach dorsal veränderte [90].

Hugger verglich durch kernspintomografische Aufnahmen die Auswirkung von der Änderung der Vertikaldimension auf die Kondylusposition, indem er die Stützstiftzentrik mit Registrierschablonen der habituellen Interkuspitation ohne Registrierschablonen gegenüberstellte. Die Aufnahmen zeigten, dass die Verwendung von intraoralen Schablonen eine anterokaudale Lageverschiebung des Kondylus in der Gelenkfossa zur Folge hat [56].

Da in dieser Untersuchung mithilfe des IPR-Registriersystems die Ergebnisse direkt im Munde des Patienten ermittelt wurden, ohne ein anschließendes Absenken des Stützstiftes, ist die Bissperrung für den Vergleich der Methoden untereinander zu vernachlässigen.

### **5.1.2 Zur Frage der Messgenauigkeit des elektronischen Registriersystems**

Das hier verwendete IPR-System stellt ein Messinstrument dar, mit dessen Hilfe die Pfeilwinkelregistrierung elektronisch und computergestützt aufgezeichnet wird. Durch seine hohe metrische Auflösung ermöglicht es die exakte Auswertung der Ergebnisse.

Die Speicherung der Daten lässt es nicht nur zu den Ablauf der Registrierungen wiederholt darzustellen, sondern auch diesen mit späteren Aufzeichnungen zu vergleichen.

Die Untersuchung von Jordan [65] bestätigte Messgenauigkeit sowie Reproduzierbarkeit des IPR-Systems im Vergleich mit dem klassischen Stützstiftregistrat.

Delbach [24] wies durch eine klinisch-experimentelle Evaluation des IPR-Systems die ausreichende Positions- bzw. Messgenauigkeit und Kräfteichung des Sensors nach und belegte damit die Exaktheit des Verfahrens.

Da das Vorgehen mit dem IPR-System selbst der Methode der intraoralen Stützstiftaufzeichnung gleicht, wurde die Registrierung wie gewohnt umgesetzt. Zuvor erfolgte lediglich die Einarbeitung in den Umgang mit den Geräten und der notwendigen Software, was ohne Probleme durch die genauen und ausführlichen Herstellerangaben möglich war.

### **5.1.3 Zum Einfluss der aufgewendeten Kraft**

Der Vorteil der elektronischen Registrierung liegt in der Kontrollmöglichkeit der aufgewendeten Kieferschließkraft während der Stützstiftregistrierung, denn aufgewendete Kräfte können die Ergebnisse fehlerhaft beeinflussen [66, 67, 148].

Hohe Kieferschließkräfte lassen die einzelnen Registrierplatten gegeneinander kippen und verschieben, wobei steigende Kräfte größere Relationsänderungen zur Folge haben. Bei einem Kraftaufwand von 30 N wurde eine Kippung bis zu  $1,5^\circ$  gemessen. Der Stellung des Stützstiftes in der Sagittalen ist in diesem Zusammenhang eine eher geringere Bedeutung beizumessen, denn der Unterkiefer schafft reflexartig durch Kippung oder Verschiebung einen Ausgleich [66, 67].

Auch in der Untersuchung von Weisbach [148] zeigten sich vergleichbare Phänomene, wobei auffällig war, dass trotz eines zentral stehenden Stützstiftes hohe Kieferschließkräfte ebenfalls zu unsymmetrischen Bewegungen beider Kondylen nach kranial bzw. kaudal führten. Unerwarteterweise und allen Hebelgesetzen zum Trotz, erfolgte die Ausrichtung der Kondylen und damit des Unterkiefers unabhängig von der Position des Stützstiftes – exzentrisch oder zentral – meist zu einer bevorzugten Seite. Hohe Kräfte verstärkten diese Tatsache, wobei keine Unterschiede im Ausmaß der Kippung zwischen zentralem und exzentrischem Stift nachweisbar waren. Demnach hat auch in der Transversalen die Positionierung des Stützstiftes nicht den bislang angenommenen Einfluss auf die Ergebnisse der Messung [148].

Alles in allem heißt dies, dass selbst bei einer korrekten Herstellung der Registrierstemplen und der einwandfreien Anordnung des Stützstiftes eine gewisse Kippung des Unterkiefers nicht ganz zu vermeiden ist [148].



Erklärungsmodelle sahen Jüde et al. und Weisbach in der unterschiedlichen Aktivität der Kaumuskulatur, im Speziellen der Muskelelevatoren (M. masseter, M. temporalis, M. pterygoideus medialis). Beispielsweise hat ein asymmetrisches Muskelvolumen einen ungleichen Muskelzug während der Registrierung zur Folge [66, 148].

Da große Kieferschließkräfte die Ergebnisse verfälschen, empfahlen Jüde et al. die Kraft zu überwachen und eine Überschreitung von 10 N zu vermeiden [66].

In der dieser Arbeit zugrunde liegenden Untersuchung war es dem Patienten selbst und dem Behandler möglich, die aufgebrachte Kieferschließkraft durch Visualisierung zu steuern bzw. zu kontrollieren, was den zuvor beschriebenen Anforderungen entspricht. Jedoch ist das vom Hersteller vorgegebene Kraftintervall von 10–30 N in Bezug auf vorangestellte Schlussfolgerungen und mögliche Verfälschungen als zu hoch einzuschätzen.

Dies wird zusätzlich durch den Fakt bekräftigt, dass Jakstat nach Untersuchungen zu dem Ergebnis kam, dass die Kieferschließkräfte bei Stützstiftaufzeichnungen vor allem bei freien Bewegungen im Mittel unter 10 N lagen [60].

Darüber hinaus fiel in der eigenen Untersuchung auf, dass die Zentrikbissnahmen, handgeführt, eines sensiblen Sensors mit der Möglichkeit eine entsprechend geringere Kraftaufwendung zu registrieren, bedürfen, da sie nicht forciert durchgeführt wurden. Der in der Studie verwendete Sensor verfügte über die Option, einen sensiblen Modus durch Umschalten am PC zu wählen. Dies wurde durch spezielle Überprüfung des Sensors unmittelbar vor der Studie vom Hersteller bestätigt.

#### **5.1.4 Zum Einfluss der Körperhaltung und Kopflage**

Die Kopfhaltung beeinflusst nach Beobachtungen die Lage des Adduktionsfeldes [126, 135].

Fuhr [37] ermittelte im Vergleich der Adduktionspunkte bei gerader Kopf- und Körperhaltung zur Dorsalflexion des Kopfes bei den meisten seiner Probanden einen Unterschied von 0,5–0,25 mm. Dieser posterior liegende Adduktionspunkt befindet sich zwischen dem Adduktionspunkt, der die habituelle Okklusion darstellt, und der retralen Grenzposition. Lediglich bei ein paar wenigen Personen zeigte sich keine Veränderung gegenüber der Registrierung bei aufrechter Sitzposition.

Helkimo [50] verwendete in seiner Untersuchung verschiedene Körper- und Kopfhaltungen. Der Patient wurde liegend mit einer entsprechend senkrechten Camper-Ebene ausgerichtet, sitzend

mit einer Camper-Ebene von  $45^\circ$  in Bezug auf die Horizontalebene oder stehend in natürlicher Position. Die zu dieser Zeit erstrebenswerte rückwärtige „Zentrik“-Position wurde erstens im Sinne einer Scharnierachsenbestimmung und zweitens mit einer Pfeilwinkelaufzeichnung bestimmt, wobei jeweils ein starker Druck vom jeweiligen Untersucher auf das Kinn ausgeübt wurde. Darüber hinaus wurde durch einfache Schließbewegungen des Patienten die muskuläre Position bestimmt. Die rückwärtige Unterkieferposition und damit „zentrische“ Relation konnte mit guter Genauigkeit in allen Körperhaltungen erreicht werden. Jedoch konnte bezüglich dieser Unterkieferposition ein gewisser Einfluss der rechts- oder linksseitigen Position des Behandlers nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu standen die Ergebnisse der muskulären Unterkieferposition. Hierbei konnte ein deutlicher Einfluss der Körper- und Kopfhaltung nachgewiesen werden, wobei ein Unterschied von liegend (retrale Unterkieferlage) zu stehend (anteriore Unterkieferlage) von 0,6mm gemessen wurde.

Campos, Nathanson und Rose [20] untersuchten 1996 zwei Methoden der Zentrikbestimmung (Schluckbissnahme und „chin point guidance technic“) und zwei Körperpositionen (liegend und aufrecht) im Unterschied auf die Position der Kondylen und der Reproduzierbarkeit der Methoden. Die Schluckbissnahme erzielte mehr superoantere Positionen der Kondylen als die manuelle Führung eines Behandlers. Hinsichtlich der Reproduzierbarkeit gab es zwischen den beiden Techniken keinen signifikanten Unterschied. Bei dem Vergleich der Körperpositionen zeigte sich nur bei der manuellen Zentrikbissnahme ein signifikanter Unterschied zwischen Rückenlage und stehender Position.

Da vergangene Studien von Fuhr, Helkimo und Campos et al. den Einfluss der Körper- bzw. Kopflage auf die Kieferrelationsbestimmung nachwiesen [20, 37, 50], wurden in der vorliegenden Untersuchung die Studienteilnehmer aufrecht sitzend positioniert. In diesem Zusammenhang wurde ein spezielles Sitzmöbel, der OrthaS®-Stuhl benutzt, denn die Untersuchung von Roggendorf [113] zeigte eine deutliche Verbesserung der Reliabilität der Kieferrelationsbestimmung, wenn der OrthaS®-Stuhl statt des gewöhnlichen zahnärztlichen Behandlungstuhles Verwendung findet.

Um die aufrechte Haltung zu unterstützen, befand sich der Monitor zur visuellen Kontrolle der aufgewendeten Kraft in Augenhöhe des zu untersuchenden Probanden bzw. Patienten.

## 5.2 Zum Adduktionspunkt 1/habituelle Unterkieferposition

Die Ergebnisse der dieser Arbeit zugrunde liegenden Studie zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen dem Adduktionspunkt und der Zentrikbissnahme. Wird von der Annahme ausgegangen, dass der Adduktionspunkt 1 durch seine zwanglosen aufeinanderfolgenden Öffnungs- und Schließbewegungen, ohne zuvor ablaufende Stützstiftaufzeichnungen, für die habituelle Okklusion steht, zeigen die Ergebnisse eine deutliche Differenz der sogenannten IKP von der zentrischen Okklusion.

Diese Erkenntnisse gehen mit den Feststellungen zahlreicher Autoren konform, die durch Untersuchungen an vollbezahnten Patienten zeigten, dass die Schlussbissposition bzw. die habituelle Okklusion ventral der retralen Kontaktposition liegt [15, 43, 50, 58, 69, 75, 84, 90, 111, 115, 118, 130, 131].

Andere Studien, in denen auch signifikante Diskrepanzen zwischen der habituellen Okklusion bzw. der maximalen Interkuspitation und zentrischen Kieferrelation nachgewiesen wurden, bezogen sich in ihren Untersuchungen auf den kondylären dreidimensionalen Versatz [1, 51, 52, 85, 133, 146].

Die Ergebnisse der im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Studie verdeutlichen die Diskrepanz zwischen der neuromuskulär gesteuerten Unterkieferposition und der manuell geführten Unterkieferlage. Die Wahl der Methode zur Kieferrelationsbestimmung beeinflusst demnach maßgeblich die Lage des Unterkiefers. Es wird in eine patientenabhängige und eine behandlerabhängige Kieferrelation unterschieden.

Boos (1959) [15] bezeichnete das Ergebnis der Adduktionsbewegungen als funktionelles Feld – „functional area“ – das durch sogenannte „tapping movements“ gewonnen wird. Er unterstreicht damit die „Funktion“ im Sinne der Patientenaktivität, mit der diese Unterkieferposition in Abhängigkeit steht. In diesem Zusammenhang wird auf mögliche okklusale Probleme hingewiesen, sollte das Adduktionsfeld mehr als 1 mm ventral der posterioren Relation, das heißt der Pfeilspitze, liegen. Bei jenen Patienten empfiehlt der Autor das okklusale Relief bei prothetischen Versorgungen entsprechend flach zu gestalten.

Spring (1953) [126] sieht in den normalen, unbewusst durchgeführten Schließbewegungen des Unterkiefers die eigentlich physiologische Unterkieferposition. Die Funktionalität und die Physiologie des Kauorgans sind seiner Auffassung nach in der Kieferrelationsbestimmung zu

berücksichtigen. Die Lage des Unterkiefers sei nicht mit der Aufzeichnung des Pfeilwinkels zu bestimmen, sondern vielmehr durch Adduktionsbewegungen aus der Ruhelage der Mandibula.

Marxkors (1970) [90] stellte in seiner Untersuchung fest, dass bei weniger als der Hälfte seiner Probanden die habituelle Interkuspitation, gemessen in Form von raschen Adduktionsbewegungen, mit der Pfeilspitze übereinstimmt.

Auch Helkimo et al. [50] sahen die „muskuläre Position“ wegen der großen Abweichung gegenüber der forcierten „retruded“ Position nicht als Referenzposition. In ihrer Untersuchung wurde mithilfe von Stützstiftaufzeichnungen ein durchschnittlicher Unterschied von 1,65 mm in der sagittalen Ebene gemessen, wobei die unmanipulierte Adduktionsbewegung anteriorer als die behandlerabhängige retrudierte Kontaktposition lag. Im Gegensatz zur eigenen Untersuchung übten die Behandler einen, wie die Autoren beschreiben, recht großen Druck auf den Unterkiefer nach dorsal aus.

Zu ebenso beachtlichen Differenzen in der Sagittalen kamen Setz und Hupfau (1970) [118], die klar unterschieden zwischen der habituellen Okklusionslage, die durch die Schluckbissnahme und der Methode nach Walkhoff bestimmt wurden, und der Retrallage des Unterkiefers, die durch die Spitze des Pfeilwinkels markiert war. In ihrer Untersuchung gab es nur bei 25 % der Probanden eine Übereinstimmung der Kontaktpositionen.

Trage (1977) [130] sieht die Pfeilspitze als eine aus anatomischen Strukturen resultierende Grenzposition, die sich dadurch von der habituellen Interkuspitation unterscheidet, dass diese eine funktionelle durch das neuromuskuläre System bedingte Haltung ist. In seiner Untersuchung fielen nur bei 15 % der Probanden die zentrale und die habituelle Kieferrelationsposition zusammen. Die restlichen Studienteilnehmer wiesen eine Differenz von 0,25–5 mm auf, wobei sich die Messwerte bei 1–1,5 mm häuften. Bei Probanden mit progner Tendenz (8 von insgesamt 87 Studienteilnehmern) zeigten sich die geringsten Unterschiede zwischen Pfeilspitze und Adduktionspunkt. Für Probanden mit einem „Deckbiss“ konnte kein bestimmtes Verteilungsmuster ausgemacht werden.

Kamps [69] kommt zu dem Ergebnis, dass bei steigender Registrierdauer die Größe des Adduktionsfeldes zunimmt und sich mehr und mehr von der Kreisform zur ovoiden, birnen- bis schlauchartigen Form verändert. Diese Tatsache und die Abweichungen des Adduktionspunktes von der retralen Kontaktposition lassen ihn bezweifeln, dass das Adduktionsfeld ein geeignetes Mittel darstellt, die horizontale Unterkieferrelation zu bestimmen.

Kloos [75], der in seiner Untersuchung ähnliche Formen des Adduktionsfeldes feststellte, registrierte dieses Feld der habituellen Okklusion durchschnittlich 1,6 mm ventral der Zentralokklusion, sprich der Pfeilspitze. Da Form und Größe allerdings wie erwähnt unterschiedlich ausfielen, kommt dem Abstand eine eher theoretische Bedeutung zu [59].

Sauer [115] stellte die Pfeilwinkelaufzeichnung der Handbissnahme mithilfe von Wachsregistraten gegenüber. Er kam zum Schluss, dass beide Methoden eine sehr gute Reproduzierbarkeit aufwiesen und die Pfeilspitze als aktiv durch den Probanden registrierte Grenzposition mit der manuell durch den Behandler gewonnenen retrudierten Unterkieferlage in 18 von 19 Fällen übereinstimmte. Bei dem Vergleich dieser beiden Methoden mit der maximalen Interkuspitation zeigte sich nur bei 5 % der Probanden eine Übereinstimmung. Daraus ergab sich für den Autor der Rückschluss, dass die retrudierte Grenzposition von der maximalen Interkuspitation, die er als die physiologische Unterkieferlage ansieht, um  $0,67 \text{ mm} \pm 0,24 \text{ mm}$  differiert.

Horn [54] stellte ebenso die retrale Unterkieferlage mithilfe der Stützstiftaufzeichnung und intraoraler Wachsbisse dar, kam jedoch zu anderen Ergebnissen. Bei dem Vergleich der beiden Registriermethoden mit der habituellen Interkuspitation zeigten sich signifikant geringere Differenzen bei der Pfeilwinkelregistrierung als bei der Registrierung mit intraoralen Wachsbissen.

Hupfaut [58, 59] ermittelte in seinen Untersuchungen bei unbezahnten wie bei bezahnten Patienten lediglich eine Übereinstimmung der habituellen Okklusion mit der retralen Kontaktposition in 15–20 % der Fälle. Er beschreibt, dass durch die Methodik der klappernden Bewegungen mit intraoralen Registriergeräten die dorsalen Anteile der Adduktoren weniger beansprucht werden, als bei zwanglosen Öffnungs- und Schließbewegungen im Allgemeinen. Aufgrund dessen nimmt der Unterkiefer eine weiter anteriore Lage ein [59].

Da auch bei den im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Messverfahren ein Stützstiftsystem mit Registrierplatten verwendet wurde, wird die letzte Schließphase des Unterkiefers nicht erreicht. Dies wird als eine mögliche Erklärung für die ventrale Lage des Adduktionspunktes gesehen.

Andererseits neigt der Patient möglicherweise wegen der Verdrängung der Zunge durch die Registrierplatten beim Aufzeichnen des Adduktionspunktes dazu, den Unterkiefer nach vorn zu

schieben. Eine Möglichkeit diesem Phänomen zu begegnen ist, den Patienten zu bitten, während der Adduktionsbewegungen den Unterkiefer zurückzuziehen [102].

In der folgenden Tabelle 8 sind verschiedene Studienergebnisse zusammengefasst:

Tabelle 8: Angaben verschiedener Autoren zur Differenz zwischen Zentrik und habitueller Kieferrelation bei vollbezahnten Probanden in der Sagittalen

Studie	Probandenanzahl	Differenz Zentrik/habitueller Kieferrelation in mm	Methode der Zentrik	Methode der habituellen Kieferrelation
<b>Hodge, Mahan</b> (1967) [53]	101	0,44 ± 0,54	Retrallengleiten des Unterkiefers	Maximale Interkuspitation
<b>Kloos</b> (1970) [75]	21	1,6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pfeilwinkelaufzeichnung</li> <li>• Handgeführte Kieferrelationsbestimmung</li> </ul>	Adduktionsbewegungen
<b>Setz, Hupfauf</b> (1970) [118]	41	0,5–4 Häufung bei: 0,5–1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methode nach Walkhoff</li> <li>• Handgeführte Kieferrelationsbestimmung, nicht forciert</li> </ul>	Schluckbissnahme
<b>Sauer</b> (1970) [115]	19	0,67 ± 0,24	Retrudiert, nicht nach dorsal forciert <ul style="list-style-type: none"> <li>• Handgeführte Kieferrelationsbestimmung</li> <li>• Pfeilwinkel-aufzeichnung</li> </ul>	Maximale Interkuspitation
<b>Helkimo</b> (1971) [50]	10	1,65	Jeweils nach dorsal forciert, manipuliert: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pfeilwinkel-aufzeichnung</li> <li>• Handgeführte Kieferrelation</li> </ul>	Unmanipulierter Adduktionspunkt
<b>Horn, Vetter</b> (1976) [54]	21	0–1,8 Häufung bei: 0,33–0,56	Retrudiert, nicht nach dorsal forciert <ul style="list-style-type: none"> <li>• Handgeführte Kieferrelationsbestimmung</li> <li>• Pfeilwinkel-aufzeichnung</li> </ul>	Maximale Interkuspitation

Studie	Probandenanzahl	Differenz Zentrik/habituelle Kieferrelation in mm	Methode der Zentrik	Methode der habituellen Kieferrelation
<b>Trage</b> (1977) [130]	87	0,25–5 Häufung bei: 1–1,5	Unmanipulierte Pfeilspitze	Adduktionsbewegungen
<b>Kamps</b> (1978) [69]	27	0,56–2,9 Häufung bei: 1,44	Pfeilwinkel- aufzeichnung	Adduktionsbewegungen

Die verschiedenen Untersuchungen können nicht ohne Weiteres direkt miteinander verglichen werden, da oft die Methodik und die Messverfahren variieren. Dennoch sprechen die tendenziell einheitlichen Ergebnisse der Literatur und die eigenen Ergebnisse für einen Nachweis, dass die neuromuskulär gesteuerte Unterkieferposition ventral der manuell geführten Zentrikbissnahme bzw. der Pfeilspitze liegt.

Die eigenen Ergebnisse unterscheiden sich jedoch von den oben beschriebenen Resultaten anderer Autoren im Ausmaß der Differenz der angewandten Methoden. So liegen die eigenen ermittelten Adduktionspunkte vor und nach den Stützstiftaufzeichnungen mit Werten von  $3,2 \pm 2,5$  mm bis  $3,6 \pm 1,9$  mm (Tabelle 7) deutlich anteriorer.

### **5.3 Zum Einfluss der neuromuskulären Deprogrammierung/ Adduktionspunkt 2**

Ziel der im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchung war der Vergleich von patientenabhängigen mit behandlerabhängigen Methoden zur Kieferrelationsbestimmung.

Als patientenabhängige Methode wurde der Adduktionspunkt 1 von dem Adduktionspunkt 2 unterschieden. Einfache Öffnungs- und Schließbewegungen des Patienten als Anfangsmessungen kennzeichneten den Adduktionspunkt 1. Anschließend ablaufende Pfeilwinkelzeichnungen und freie Lateralbewegungen des Unterkiefers, wobei der Schreibstift im Oberkiefer Kontakt mit der Registrierplatte des Unterkiefers hält, stehen für eine neuromuskuläre Deprogrammierung des Patienten. Der nun gemessene Adduktionspunkt 2 unterscheidet sich von dem Adduktionspunkt 1 durch gerichtete und freie Bewegungen des Unterkiefers.

In der Literatur finden sich nur vereinzelt Hinweise auf das Anwenden der neuronalen Deprogrammierung des Patienten vor der Kieferrelationsbestimmung.

Hromatka [55] empfiehlt vor der eigentlichen Kieferrelationsbestimmung Ablenkungs- und Ermüdungsmaßnahmen durchzuführen. Der Unterkiefer sollte aktiv durch den Patienten so lange vor- und rückwärts geschoben werden, bis der Patient, durch die Bewegung ermüdet, locker die „richtige Stellung“ einnehmen kann.

Utz et al. [135] stellen fest, dass mehrmalige Adduktionsfeldregistrierungen eine fortschreitende neuromuskuläre Desorientierung mit sich bringen und damit eine Verlagerung der Mandibula nach dorsal zu erklären ist.

Im Rahmen dieser Arbeit konnte keine rückwärtige Verlagerung des Unterkiefers durch die neuromuskuläre Deprogrammierung des Patienten beobachtet werden. Der Adduktionspunkt 2 unterscheidet sich in seiner Lage nicht signifikant von dem Adduktionspunkt 1. Lediglich im Vergleich der Streuung fällt tendenziell der Einfluss der Ablenkungs- und Ermüdungsmaßnahmen auf. Der Adduktionspunkt 2 zeigte vor allem bei den funktionskranken Patienten höhere Werte der Streuung in der Sagittalen. Demnach ist zu schlussfolgern, dass eine neuromuskuläre Deprogrammierung des Patienten nicht die Lage des Adduktionspunktes selbst beeinflusst, jedoch nachteilig für die Streuung ist, das heißt sich auf die Größe des Adduktionsfeldes auswirkt.

#### **5.4 Zur Streuung**

Hupfaut (1963) [58] registrierte bei unbezahnten Patienten ein Adduktionsfeld von 1–1,5 mm<sup>2</sup>. Diese Streuung entspricht seiner Meinung nach dem durch neuromuskuläres Reflexgeschehen entstandenen gewohnheitsmäßig eingenommenen Schlussbiss. Seiner Erklärung nach kann die habituelle Unterkieferlage durch die Anpassung der Muskulatur, zum Beispiel durch reduzierte okklusale Kontakte einer ehemaligen Restbezahnung oder isolierten Zahngruppen, im Sinne eines Zwangsbisses verändert worden sein [59].

Smola [125] hingegen konnte keine Proportionalitäten zwischen der Long Centric und dem Adduktionspunkt nachweisen. Laut Hupfaut [59] werden bei den zwanglosen klappernden Öffnungs- und Schließbewegungen die dorsalen Anteile der Adduktoren weniger beansprucht und er erklärt somit die Tatsache, dass sich der Unterkiefer in einer anterioreren Lage befindet.



Felber [34] ermittelte bei 60 % der Probanden Adduktionsfelder in einer Größe von 1–3 mm<sup>2</sup>, die unabhängig von der Tageszeit gemessen wurden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen von Fuhr [37] konnten, im Gegensatz zu den eigenen vorliegenden und den zuvor erwähnten Messungen, eine sichere Reproduzierbarkeit von Adduktionsbewegungen nachweisen.

Wie an den der vorliegenden Arbeit zugrunde liegenden Untersuchungen abzulesen ist, hat der Funktionsstatus tendenziell einen Einfluss auf die Streuung der muskulären Zentrik.

Umgekehrt darf jedoch den diagnostische Wert der Adduktionspunkte nicht überschätzt werden, denn infolge der Einschränkung des Zungenraums durch die Registrierschablone im Unterkiefer kann das muskuläre Gleichgewicht erheblich gestört sein [102].

Die Aussagekraft der Adduktionspunkte hinsichtlich der Diagnose einer Myopathie ist demzufolge nicht gegeben.

Darüber hinaus wies in der eigenen Untersuchung das neuromuskulär bestimmte Adduktionsfeld vor allen in der Sagittalen eine tendenziell höhere Streuung als die handgeführte Kieferrelationsbestimmung auf.

Da in der im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchung nur Tendenzen hinsichtlich der Streuung auftraten, kann keine klinische Relevanz ausgemacht werden. Es hätte wahrscheinlich einer größeren Zahl von Patienten bedurft, um sicher zu sein, ob die Unterschiede rein zufällig eine Tendenz aufzeigen oder aber signifikante Unterschiede ermittelt werden können.

## **5.5 Zur Reproduzierbarkeit**

Bei der Wahl einer Methode zur Kieferrelationsbestimmung stellt sich die Frage nach ihrer Verlässlichkeit.

Ein Verfahren bzw. eine Methode kann als verlässlich angesehen werden, wenn die Reproduzierbarkeit intraindividuell und interindividuell nachgewiesen ist [91].

Der Patient selbst stellt eine mögliche Fehlerquelle dar. So wiesen Shafagh et al. [120] in einer Untersuchung der Zentrikbissnahme die große intra- und interindividuelle Variabilität der zentrischen Kondylenlage nach.

Im Gegensatz dazu stellte Mayer in seinen Untersuchungsreihen fest, dass die Pfeilwinkelaufzeichnung nach Gerber hinsichtlich der Reproduzierbarkeit gute Werte aufwies, da die intraindividuellen und interindividuellen Ergebnisse identisch waren. Er zog daraufhin die Schlussfolgerung, dass die instrumentelle Funktionsanalyse nach Gerber nicht nur zuverlässig ist, sondern darüber hinaus gut lehrbar und der zeitliche und finanzielle Aufwand deshalb durchaus zu vertreten ist [91].

Zu gleichen Ergebnissen hinsichtlich der guten Reproduzierbarkeit kamen Utz et al. [136]. Sie betonten demzufolge die Vorteile der Pfeilwinkelaufzeichnung hinsichtlich der Präzision, der Wiederholung zur Kontrolle des Pfeilwinkels und der Unabhängigkeit der Ergebnisse vom Behandler.

Grasso und Sharry [42] konnten signifikante Unterschiede der Pfeilspitzenposition abhängig vom Tageszeitpunkt der Stützstiftaufzeichnung nachweisen. Sie empfehlen die Registrierung wiederholt vorzunehmen, um das Aktivitätszentrum zu finden. Da die Variabilität generell unter 1 mm lag, empfehlen sie, wie auch schon Hupfauß [58], bei Restaurationen das Ziel der okklusalen Freiheit zu verfolgen, zum Beispiel in Form von Flachhöckerzähnen oder einer Frontzahnstufe.

Felber [34] hingegen konnte weder bei den Adduktionsbewegungen noch bei der Stützstiftaufzeichnung eine beeinflussende Rolle der Tageszeit nachweisen.

Es wird diskutiert, ob während der Pfeilwinkelregistrierung ein leichter, nach dorsal gerichteter Druck auf das Kinn ausgeübt werden soll [134, 140]. Es gibt in der Literatur Hinweise, dass eine bessere Reproduzierbarkeit mithilfe dieser Technik erzielt werden kann [21, 68, 70, 96, 124, 139, 141].

Auch die DGPro empfiehlt in ihrer Wissenschaftlichen Mitteilung eine „Handführung des Behandlers“ während der Stützstiftaufzeichnung [29].

In Bezug auf die Reproduzierbarkeit ist, laut einiger Autoren, die Stützstiftaufzeichnung der Handbissnahme zur Festlegung der horizontalen Unterkieferposition vorzuziehen [17, 71, 80, 116].

Generell lässt sich festhalten, dass die maximal retrudierte, aber nicht forcierte Unterkieferposition die größte Reproduzierbarkeit aufweist [21], sie aber nicht identisch ist mit der zwanglosen neuromuskulären Unterkieferhaltung, was im Grunde genommen allein aus

physiologischen Gründen verständlich ist. Einerseits wird die muskuläre Führung des Unterkiefers in diesem Zusammenhang als Ursache gesehen, andererseits auch Störfaktoren wie das Einfügen von Registriergeräten [34].

Palla sieht in Bezug auf eine neue Position für den Aufbau einer künstlichen Okklusion nicht die Notwendigkeit der Reproduzierbarkeit. Einerseits soll die Einstellung einer Grenzposition vermieden werden, andererseits sollte die muskuläre Komponente, die sich in dem klinischen Befund widerspiegelt, mit berücksichtigt werden [103].

Der gewissen Variabilität in der Pfeilwinkelaufzeichnung als Methode der horizontalen Kieferrelation sollte mit einer „free centric area“ in der Okklusionsgestaltung Raum gegeben werden [96].

## 5.6 Zur Verschlüsselung

Soll eine neue Unterkieferlage festgelegt werden, empfiehlt es sich laut Sauer (1970) [115] die retrudierte Kontaktposition als Hilfs- bzw. Bezugsposition heranzuziehen. Zu beachten ist, dass diese Ansicht dem damaligen Zeitgeist entspricht. So betont der Autor zwar, der Unterkiefer sollte nicht forciert nach retral geführt werden, er empfiehlt jedoch bei verspannter Kaumuskulatur „einen Druck nach dorsal und oben“ auszuüben. Für die Verschlüsselung selbst sollte demnach die retrudierte Grenzposition verwendet werden, da diese nach seinen Erfahrungen gut toleriert wird. Alternativ kann eine Position, die 0,5–1 mm mesial davon zu finden ist, als Ausgangslage für prothetische Rekonstruktionen gewählt werden, mit dem Vorteil dem „ursprünglichen Zustand“ eher zu entsprechen [115].

Diese zweideutigen Aussagen verdeutlichen die Brisanz des Themas der Verschlüsselung.

Auch Utz et al. [138] halten die Diskussion, ob die retrale Kontaktposition als Grenzposition für den Ausgangspunkt bei zahnärztlichen Rekonstruktionen dienen kann, für berechtigt. Als Voraussetzung sollte nach Meinung der Autoren eine physiologische Kondylus-Diskus-Beziehung bestehen und die Führung des Unterkiefers sollte in keinem Falle forciert geschehen.

In diesem Zusammenhang sei der Paradigmenwechsel seit den späten 1970er-Jahren hinsichtlich der Begriffsbestimmung der Zentrik erwähnt, denn die Definition von „most posterior superior position“ [3] ändert sich in „most superior anterior position“ [4].

Als Ziel sehen Utz et al. [138] eine reproduzierbare Unterkieferhaltung zu bestimmen, die nicht als „Ideal“, sondern als „therapeutische Kompromissposition“ bezeichnet wird.

Palla [102, 103] hält in der Regel eine Verschlüsselung leicht hinter der Pfeilspitze (0,3–0,5 mm) für sinnvoll und empfiehlt zusätzlich in diesem Zusammenhang das Einschleifen einer anterioren Freiheit im Sinne der „long centric“ oder „freedom in centric“. Der Vorteil dieser Ausgangslage für den Okklusionsaufbau ist die Berücksichtigung der Kaubahn. Darüber hinaus wird bei dem Patienten eine schmerzhafte Retrallage des Unterkiefers verhindert und das Adaptationsvermögen des neuromuskulären Systems nicht überfordert. Ein entsprechender Spielraum in der Okklusion nach retral sollte auf Empfehlung des Autors ebenfalls vorgesehen werden, da Zahnkontakte beim Schlucken oder bei Parafunktionen bis in die retrudierte Unterkieferlage erfolgen.

In der Wissenschaftlichen Mitteilung der DGPro [29] wird die Verschlüsselung direkt auf der Pfeilspitze angeraten, mit dem Hintergrund der Reproduzierbarkeit.

Eine individuell festgelegte Position, die sich anterior der Pfeilspitze befindet, zum Beispiel in der Mitte des Adduktionsfeldes, sollte nicht frei gewählt werden, da ihre Überprüfung nicht möglich ist [29].

Die eigenen Daten können leider zu dieser Diskussion nicht klärend beitragen. Die Adduktionspunkte liegen mit Werten von  $3,2 \pm 2,5$  mm bis  $3,6 \pm 1,9$  mm (Tabelle 7) anterior der Pfeilspitze. Dies deutet darauf hin, dass eine Kieferrelation, gewonnen aufgrund der Adduktionspunkte eine deutlich von der Interkuspitationsposition anterior abweichende Kieferrelation erzeugt. Werden die Patienten daraufhin mit Schienen vorbehandelt, ergibt sich daraus möglicherweise eine Verbesserung der Beschwerden, jedoch auch die Notwendigkeit einer prothetischen Rekonstruktion mit Bisslageveränderung. Ob eine derart weit protrusive Lage stabil eingenommen werden kann, ist fraglich und ob diese weit anteriore Lage aus funktionellen Gründen überhaupt notwendig ist, ist ebenfalls nicht gesichert.

## **5.7 Zur Behandlerabhängigkeit**

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde im Vergleich der Zentrikbissnahmen einem unerfahrenen ein erfahrener Behandler gegenübergestellt, wobei keine signifikanten Unterschiede zu verzeichnen waren.

Diese Ergebnisse zur Behandlerabhängigkeit decken sich mit den Resultaten von Piehslinger [106]. Die Autorin untersuchte 1993 die Reproduzierbarkeit der kondylären Referenzposition durch die „Chin-Point-Guidance“-Methode an funktionsgesunden und funktionskranken Patienten. Zwischen drei verschiedenen Behandlern ergab sich wie in der eigenen Untersuchung kein signifikanter Unterschied.

Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen Tarantola et. al. [127]. Die Reproduzierbarkeit der Zentrikbissnahme wurde von 39 Zahnärzten an 5 Patienten mithilfe der bimanuellen Unterkieferführung untersucht. Die Abweichungen der Kondylenposition betragen maximal 0,1 mm und entsprachen der Toleranz des Untersuchungsgerätes (Denar Centri-Check).

Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen finden sich andere Studien in der Literatur, in denen ein gewisser Einfluss der Behandler sowohl in Bezug auf die Variabilität als auch auf die Reproduzierbarkeit in der manuell geführten Kieferrelationsbestimmung nachgewiesen wurde [13, 21, 50, 83, 138].

Helkimo [50] untersuchte 1971 die Variabilität der Zentrikbissnahme in Abhängigkeit von verschiedenen Behandlern. Er kam zum Ergebnis, dass eine mediolaterale Komponente besteht, je nachdem ob der Behandler rechts- oder linksseitig vom Patienten positioniert ist.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam 1973 Celenza [21]. Der Autor stellte in seiner Studie fest, dass ein Behandler durch seine lateral gerichtete Führung jeweils eine linksseitige Abweichung der Unterkiefer der Patienten verursachte. Er bekräftigte wie wichtig es sei, dass der Zahnarzt während der Zentrikbissnahme direkt vor dem Patienten steht.

Gleiches hinsichtlich der Reproduzierbarkeit und Variabilität der Abgleitbewegung des Unterkiefers wurde von Lenter [83] in seiner Studie beobachtet. Auch er stellte einen horizontalen Versatz der Mandibula nach links fest. Als Ursache für diese linksseitige Verschiebung des Unterkiefers werden die Art des gewählten Handgriffes, der Standort des Behandlers sowie das Führen mit der rechten Hand diskutiert. Der Autor schlussfolgerte, dass der Einfluss des Behandlers auf die zentrische Kondylenposition größer zu sein scheint als die physiologischen Gegebenheiten und anatomischen Strukturen.

Wenn als Ursache für die Unterschiede zwischen den Untersuchern sowohl die Art des gewählten Handgriffes und die ausgeübte Kraft als auch der Standort des Behandlers gelten, schienen diese Einflüsse für die vorliegenden Arbeit keine nachteiligen Auswirkungen zu haben,

denn eine mediolaterale Komponente im Sinne einer Seitenabweichung konnte nicht nachgewiesen werden.

## **5.8 Zu funktionskranken Patienten**

In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Methoden zur horizontalen Kieferrelationsbestimmung an funktionsgesunden Probanden und funktionskranken Patienten gegenübergestellt. Die letztgenannte Patientengruppe charakterisierte obligatorisch das Vorliegen von Schmerzen im Bereich der Kiefermuskulatur (myofaszialer Schmerz mit oder ohne Limitation) und die Diagnose der Okklusopathie (DGFDT). Erkrankungen der Kiefergelenke konnten vorliegen, stellten jedoch kein Einschlusskriterium dar.

Die Ergebnisse der durchgeführten Studie zeigen, dass die Lage der Adduktionspunkte sowie der Zentribissnahmen vom Krankheitszustand der Patienten nicht beeinflusst wurde.

Vergleichbare Ergebnisse erhielten Piehslinger et al. [106], die in einer Untersuchung zur Reproduzierbarkeit der Zentribissnahme keinen signifikanten Unterschied im Vergleich zwischen funktionskranken Patienten und funktionsgesunden Probanden feststellen konnten. Die Gruppe der funktionsgestörten Patienten, bestehend aus 22 Personen, besaß jedoch im Gegensatz zu der im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchung keine einheitliche Diagnose. Das Vorhandensein unterschiedlicher Symptome einer craniomandibulären Dysfunktion, wie eine Limitation in der mandibulären Bewegung, Asymmetrien der Kondylenbahn, Knackgeräusche, Hypermobilität, Diskusverlagerungen wie auch subjektive Beschwerden: Schmerzen beim Öffnen des Mundes und beim Kauen, Knacken, ausstrahlende Schmerzen zum Ohr, Kopf oder Hals, zeichnete die Patientengruppe aus. Zwar konnte bei Patienten wie Probanden eine hohe Reproduzierbarkeit nachgewiesen werden, jedoch lassen die Einschlusskriterien der Patienten nur bedingt einen Vergleich mit der eigenen Studie zu.

Woda [150] ist der Meinung, dass als Voraussetzung für eine korrekte Kieferrelationsbestimmung der gesunde Funktionszustand des Patienten sichergestellt werden muss, mitunter durch initiale Vorbehandlung.

Auch Hromatka [55] gibt an, dass es bei der Kieferrelationsbestimmung vor allem auf eine spannungsfreie Gleichgewichtslage der Kaumuskulatur ankommt. Ist dies nicht der Fall, wird weniger die Pfeilwinkelaufzeichnung als solche beeinträchtigt, da hier der Unterkiefer bewusst

an die ligamentären bzw. knöchernen Grenzen geführt wird. Jedoch bewertete der Autor bei der Registrierung des Adduktionsfeldes eine verkrampte Muskulatur als nachteilig.

Im Gegensatz dazu stehen die eigenen Ergebnisse und die Schlussfolgerungen von Obrez [97]. In der im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Studie traten bei den funktionskranken Patienten häufiger Koordinationsschwierigkeiten im Bewegungsablauf während der Pfeilwinkelaufzeichnung auf als bei den funktionsgesunden Probanden. Zudem wurden erhebliche Unterschiede in der Symmetrie des Pfeilwinkels registriert. Koeck und Lückerrath [78] ziehen aus den Abweichungen des Symphysenbahnwinkels undifferenziert Rückschlüsse auf die Gelenkfunktion. Laut Obrez [97] wirkt überwiegend die neuromuskuläre Komponente auf die Bewegungsfunktion ein und beeinflusst über den Muskelschmerz die Unterkiefergrenzbewegungen und die Position der Pfeilspitze. Da Schmerz in der Kaumuskulatur die Kieferrelation verändert, lässt sich nach Obrez das Phänomen erklären, warum Patienten mit Muskelschmerz ihren Biss als nicht „richtig“ empfinden. In diesen Fällen sollte von einer definitiven okklusalen Therapie abgesehen werden und die reversible Behandlung des Schmerzes in den Vordergrund rücken [97].

Nach diesem Ansatz sind ebenso die Ergebnisse der Streuung der vorliegenden Arbeit zu bewerten, denn funktionskranke Patienten wiesen generell in allen Methoden der Kieferrelationsbestimmung jeweils eine Tendenz zur höheren Streuung auf als funktionsgesunde Probanden.

Utz [134] gibt an, dass eine verspannte Kaumuskulatur einen wesentlichen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Unterkieferposition hat. Aus diesem Grund empfiehlt er eine Vorbehandlung zum Beispiel in Form eines Aufbissbehelfs. Zu beachten sei allerdings, dass sich mit dem Zustand der Entspannung die Unterkieferhaltung ändern kann [19, 64].

Verspannungen im Bereich der Kaumuskulatur können laut Utz zudem das Phänomen einer abgerundeten Pfeilspitze zur Folge haben [134].

Somit ist nicht nur die muskuläre Zentrik vom Funktionsstatus des Patienten abhängig, sondern auch die artikuläre Zentrik durch die Pfeilspitze definiert. Der Patient vermeidet es in diesen Fällen, den Unterkiefer vollständig zurückzuziehen. Um eine Distalisierung des Unterkiefers zu ermöglichen, muss einer horizontalen Kieferrelationsbestimmung folglich eine Vorbehandlungsphase vorgeschaltet werden [102].

Im Gegensatz dazu stehen die eigenen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit. Eine abgerundete Pfeilspitze wurde lediglich bei zwei von zehn funktionskranken Patienten registriert. Die Myopathie, die als Einschlusskriterium die Patienten charakterisiert, hat demnach nicht regelhaft eine direkte Auswirkung auf die Form der Pfeilspitze.

Die exzentrische Lage der Adduktionsbewegungen spiegelt ebenso eine muskuläre Dyskoordination wider, wie der asymmetrische Verlauf des gotischen Bogens [102, 129].

Auch in den eigenen Ergebnissen wiesen die funktionskranken Patienten auffallende Abweichungen in der Symmetrie des Symphysenbahnwinkels auf. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Todić et al. [129], die eine signifikante Abhängigkeit im Grad der craniomandibulären Dysfunktion zum Grad der Veränderungen im gotischen Bogen nachwiesen.

Ursächlich für die stärkere Translation in einem der Kiefergelenke sieht Palla die Dominanz des entsprechenden M. pterygoideus lateralis [102].

Hochbetagte Patienten bzw. dyskoordinierte Patienten sind oft nicht in der Lage gerichtete Bewegungen in Form eines gotischen Bogens auszuführen. Kann eine Registrierung der Pfeilspitze nicht erreicht werden, so sind einfache Vor- und Rückgleitbewegungen durchzuführen. Ist auch dies nicht von den Patienten zu koordinieren, ist sich auf die Registrierung der Adduktionspunkte mitunter auch unter manueller Hilfestellung des Behandlers zu beschränken [102].

Weinberg [147] sah 1972 eine Myopathie in Form einer Verspannung oder Verkrampfung als Schwierigkeit, eine korrekte Kondylenrelation einzustellen.

## **5.9 Zur Okklusopathie im Speziellen**

Für dysfunktionelle Kiefergelenkbeschwerden wird im Allgemeinen eine multifunktionelle Genese angenommen, wobei jedoch okklusale Störungen eine mögliche Ursache darstellen.

Ein destabilisierender Aufbiss kann zu einer Fehlpositionierung der Kiefergelenke führen und das neuromuskuläre System nachhaltig negativ in Form von Dyskoordination beeinflussen. Es wird von einer biomechanischen wechselseitigen funktionellen Beziehung zwischen den anatomischen Strukturen der Kiefergelenke, den antagonistischen Okklusalfächern der Zahnreihen und der Kaumuskulatur gesprochen [78].



Auch in der im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Studie wird dieses Phänomen bestätigt. Die funktionskranken Patienten, die sich alle im Speziellen durch eine Okklusopathie auszeichnen, weisen im Gegensatz zu den funktionsgesunden Probanden die Tendenz einer erhöhten Streuung der Adduktionspunkte auf. Die rein muskulär geführten Schließbewegungen der Patienten, ohne manuelle Intervention der Behandler, formen also ein größeres Adduktionsfeld als das der Probanden. Die Okklusopathie wirkt sich demnach nachteilig auf die Koordination der Muskulatur aus.

Demzufolge ist das Aufzeichnen der Adduktionspunkte, als neuromuskulär gesteuerte Methode der Kieferrelationsbestimmung, möglicherweise nicht bei funktionskranken Patienten anzuwenden.

Aufgabe des Zahnarztes ist es durch das Äquilibrieren der Okklusion eine dysfunktionelle Verlagerung des Unterkiefers zu beheben und die unkoordinierte Muskelaktivität positiv zu beeinflussen, indem eine unphysiologische Belastung der beteiligten Gewebe vermieden wird. Als Therapiemaßnahme wird vor dem Einschleifen der Okklusion eine Äquilibrationsschiene empfohlen. Der Vorteil liegt in der Reversibilität und der Möglichkeit auf veränderte muskuläre Aktivitätszustände, zum Beispiel durch physiotherapeutische Behandlungen, zu reagieren.

Darüber hinaus ergibt sich die Forderung nach einer instrumentellen Funktionsanalyse mit dem Ziel die „funktionelle Normposition der Kondylen in den Fossae articulares als Ausgangsposition für therapeutische okklusale Korrekturen zu bestimmen“ [78].

## **5.10 Die „richtige“ Lage des Unterkiefers zum Oberkiefer**

Diese Arbeit setzt sich mit verschiedenen Methoden zur horizontalen Kieferrelationsbestimmung auseinander, wobei verschiedene Einflüsse, wie Behandler und die Funktionsgesundheit, mit betrachtet wurden. Die Ergebnisse ermöglichen den Vergleich der methodenabhängigen Unterkieferpositionen, wobei jedoch keine Aussage über eine therapeutisch richtige Unterkieferlage getätigt werden kann.

Eine paritätische Geschlechterverteilung der einzelnen Gruppen wurde angestrebt, konnte aber nicht eindeutig umgesetzt werden, sodass sich in der Patientengruppe 7 Frauen und 3 Männer und in der Probandengruppe 8 Frauen und 2 Männer befanden. Von einem geschlechterspezifischen Einfluss auf die Aussagekraft der Ergebnisse ist jedoch nicht auszugehen [52, 133].

Die elektronische Stützstiftaufzeichnung mit dem IPR-System ermöglicht durch die Digitalisierung den exakten Vergleich der gewonnenen Daten. Das Charakteristikum der Zweidimensionalität der intraoralen Stützstiftaufzeichnung selbst wird jedoch als gewisser Nachteil gewertet, da die dritte Raumkomponente nicht betrachtet werden kann. Ergänzend dazu wäre das Einsockeln der Patienten- bzw. Probandenmodelle in einem Artikulator in die Positionen der verschiedenen Registriermethoden möglich, das die Evaluation der Kondylenposition realisiert.

Zudem fehlen die Bewegungsaufzeichnungen zur Beurteilung der intraartikulären Vorgänge.

Darüber hinaus könnte eine bildgebende Kondylenpositionsanalyse zum Beispiel mittels eines MRT die Auswertung der Kondylenposition in Relation zur Fossa ermöglichen. Dies hätte jedoch in der vorliegenden Studie aus finanziellen Gründen nicht durchgeführt werden können und letztlich auch keine Aussage über die „richtige“ Lage des Unterkiefers zum Oberkiefer gegeben. Wie bereits unter 5.6 dargelegt, leitet eine weit anterior liegende Positionierung des Unterkiefers eine prothetische Behandlungsnotwendigkeit ab, von der ungeklärt ist, ob sie überhaupt aus funktioneller Sicht notwendig ist und ob sie vom Patienten nach Rekonstruktion stabil eingenommen werden kann.

Okeson empfiehlt in diesem Zusammenhang den therapeutischen Ansatz vorrangig auf die ätiologischen Faktoren der Funktionsstörung zu richten und so minimal invasiv als möglich vorzugehen [100].

## 6 Schlussfolgerungen

Die Wahl der Methode zur Kieferrelationsbestimmung hat eine entscheidende Bedeutung für die Lage des Unterkiefers.

In der Gegenüberstellung der hier untersuchten Methoden zur Kieferrelationsbestimmung lagen die Adduktionspunkte signifikant anteriorer als die manuell geführten Zentribissnahmen.

Darüber hinaus wies das neuromuskulär bestimmte Adduktionsfeld vor allen in der Sagittalen tendenziell eine höhere Streuung auf als die handgeführte Kieferrelationsbestimmung. Daraus lässt sich keine Aussage ableiten, welche Kieferrelation die „richtige“ ist. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um hier Klarheit zu schaffen.

Der Funktionszustand der Patienten beeinflusst tendenziell die Reliabilität der einzelnen Kieferrelationsmethoden hinsichtlich der Streuung. Die Lage der Adduktionspunkte sowie der Zentribissnahmen wurden vom Krankheitszustand der Patienten nicht beeinflusst. Bei funktionskranken Patienten traten jedoch häufiger Koordinationsschwierigkeiten im Bewegungsablauf während der Pfeilwinkelaufzeichnung auf als bei den funktionsgesunden Probanden. Darüber hinaus wurden erhebliche Unterschiede in der Symmetrie des Pfeilwinkels registriert.

Eine neuromuskuläre Deprogrammierung in Form einer Pfeilwinkelaufzeichnung und freier Lateralbewegungen des Unterkiefers, wobei der Schreibstift den Kontakt zur Schreibplatte bzw. Sensorplatte nicht verliert, beeinflusst die Lage des Adduktionspunktes nicht. Bei funktionsgestörten Patienten zeigte sich jedoch tendenziell eine höhere Streuung dieser Werte, das heißt ein größeres Adduktionsfeld. Demnach ist festzuhalten, dass eine neuromuskuläre Deprogrammierung wahrscheinlich keine Vorteile für die Reliabilität der Kieferrelationsbestimmung bringt.

Die Erfahrung der Behandler zeigte im Vergleich der Zentribissnahmen keinen signifikanten Einfluss. Eine mediolaterale Komponente im Sinne einer Seitenabweichung konnte nicht nachgewiesen werden. Demzufolge hat der Erfahrungsstand der Behandler eine untergeordnete Bedeutung, wenn die Handhabung und Durchführung der manuell geführten Kieferrelationsbestimmung gleich ist.

Abschließend kann keine klare Empfehlung zur Wahl einer Methode der Kieferrelationsbestimmung ausgesprochen werden. Es lassen sich allenfalls Überlegungen anstellen, die weiterer Untersuchungen bedürfen:

Aufgrund der deutlich anterioren Lage des Unterkiefers in der Sagittalen bei der muskulär bestimmten Methode des Adduktionsfeldes, wird mit großer Wahrscheinlichkeit die Kieferrelation deutlich von der Interkuspitation abweichen. Daraus wird – bei entsprechender Vorbehandlung mit Schienen – eine große Wahrscheinlichkeit für die definitive Umstellung der gesamten Okklusion abzuleiten sein, was ein invasives Therapiekonzept bedeutet. Dies wird zur Therapie kranio-mandibulärer Dysfunktionen kritisch gesehen [100].

Die handgeführte Kieferrelation weist ein tendenziell geringes Streuungsverhalten in der Horizontalen auf und wird wahrscheinlich näher an der Interkuspitationsposition liegen, sodass sie zur Kieferrelationsbestimmung bei Funktionsgesunden wie zur Vorbehandlung bei Funktionskranken eher zu empfehlen ist.

## 7 Zusammenfassung

In der vorliegenden klinisch-experimentellen prospektiven Studie wurden verschiedene Methoden zur Kieferrelationsbestimmung mithilfe eines elektronischen intraoralen Stützstiftsystems untersucht.

Die vollbezahnten Studienteilnehmer ( $n = 20$ ) wurden mittels klinischer Funktionsanalyse nach RDC/TMD in 10 funktionsgesunde Probanden und 10 funktionskranke Patienten differenziert. Im Speziellen lag bei den funktionseingeschränkten Patienten eine myogene Dysfunktion analog der Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (RDC/TMD) Diagnosegruppen Ia und Ib (Tabelle 2), sowie eine Okklusopathie analog der Klassifizierung der DGFDT (Tabelle 3) vor. In Bezug auf das Alter und das Geschlecht wurde eine Gleichverteilung angestrebt. Während der Kieferrelationsbestimmung wurden alle Studienteilnehmer auf einem speziellen Sitzmöbel positioniert, um eine aufrechte Sitzhaltung sicherzustellen. Mithilfe des elektronischen Stützstiftregistrates (IPR) wurde die Position des Unterkiefers in zweidimensionalen Koordinaten festgehalten. Folgende Methoden der Kieferrelationsbestimmung wurden bei allen Studienteilnehmern durchgeführt:

- Adduktionspunkt 1 (ohne vorherige Stützstiftaufzeichnungen)
- Adduktionspunkt 2 (nach Stützstiftaufzeichnungen, neuromuskulär deprogrammiert)
- Zentribissnahmen manuell geführt
  - Von einem erfahrenen Untersucher
  - Von einem unerfahrenen Untersucher

Die Adduktionspunkte vor und nach neuromuskulärer Deprogrammierung waren nicht signifikant unterschiedlich (gepaarter T-Test als Gruppenvergleichstest: transversal:  $p = 0,369$ ; sagittal:  $p = 0,486$ ) (Abbildung 20), lagen jedoch signifikant anteriorer als die manuellen Zentribissnahmen (gepaarter T-Test als Gruppenvergleichstest:  $p < 0,0001$ ) (Abbildungen 21–24).

In dem Vergleich der Adduktionspunkte 1/2 mit der Zentribissnahme wies die neuromuskulär bestimmte Unterkieferlage vor allen in der Sagittalen tendenziell eine höhere Streuung auf als die handgeführte Kieferrelationsbestimmung (Tabelle 5).

Weder eine Myopathie oder eine Okklusopathie noch der unterschiedliche Erfahrungsstand der Behandler hatten einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse der angewandten Kieferrelationsmethoden (Abbildungen 27–31).

Funktionskranke Patienten wiesen generell in allen Methoden der Kieferrelationsbestimmung jeweils tendenziell eine höhere Streuung auf als funktionsgesunde Probanden (Abbildung 32).

Während der Pfeilwinkelaufzeichnung traten bei funktionskranken Patienten häufiger Koordinationsschwierigkeiten im Bewegungsablauf sowie Asymmetrien der Symphysenbahnwinkel auf als bei den funktionsgesunden Probanden. Die Form der Pfeilspitze differierte kaum zwischen den Gruppen.

Bei keiner Methode zur Kieferrelationsbestimmung konnte eine mediolaterale Komponente im Sinne einer Seitenabweichung nachgewiesen werden (Tabelle 6).

Schlussfolgerung:

Die Lage des Unterkiefers wird durch die Methode der Kieferrelationsbestimmung festgelegt. Die Adduktionspunkte 1 und 2 lagen hoch signifikant anteriorer im Vergleich zur handgeführten Kieferrelationsbestimmung. Aufgrund der tendenziell größeren Streuung scheinen der Funktionszustand der Patienten und die neuromuskuläre Deprogrammierung nachteilig zu sein, was weiterer Studien bedarf.

Da die Reliabilität keine Aussage über die „richtige“ Kieferrelationsbestimmung hat, kann keiner der beiden Methoden ein Vorzug gegeben werden. Die Bestimmung mittels Adduktionspunkt hat aber die größere Wahrscheinlichkeit zur Folge, in die Okklusion invasiv einzugreifen.

## 8 Summary

In this study different bite registration methods for maxillomandibular relationship were examined using an electronic intraoral support pin system (IPR-Systems Dental Balance GmbH, Potsdam, Germany).

Twenty fully denticulated subjects were screened for TMD (temporomandibular disorders) based on the Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (RDC / TMD) and distinguished into functional impaired and functional healthy groups.

All study participants were placed on a specialized chair which supported a standardised upright seating position.

The position of the mandible was recorded in two-dimensional coordinates. The following methods of the maxillomandibular relationship were performed on all study participants:

- field of adduction 1 (without movement of the central-bearing-point system)
- field of adduction 2 (after dynamic sequences with the intraoral pin, neuromuscular deprogramming)
- centric relation guided manually:
  - by an experienced examiner
  - by a non experienced examiner

The fields of adduction 1/2 were not significantly different (paired t-test as a group comparison test: transverse:  $p = 0.369$ ; sagittal:  $p = 0.486$ ). The fields of adduction were significantly anterior in comparison to the manually guided centric relation (paired t-test as a group comparison test:  $p < 0.0001$ ).

Comparing the fields of adduction 1/2 with the manually guided centric relation it was found that the neuromuscular mandibular position above all tend to had a higher scatter, than the bite registration taken by the two operators.

There is no tendency of differences found between the two independent operators.

Myopathy, occlusopathy and different levels of experience of the operators had no influence to the outcome of the applied methods of maxillomandibular relationship recording.

In all methods of maxillomandibular relationship recording generally functional impaired patients tend to had higher scattering as the healthy subjects.

While recording the Gothic arch, the group of functional impaired patients showed a difference in coordination of the sequence of movement and the symmetry of the recorded angle compared to functional healthy subjects. The shape of the arrowhead hardly differed between the groups.

In conclusion the patients` health and neuromuscular deprogramming seems to be a negative influence on scattering. The position of the mandible is determined by the method of maxillomandibular relationship. The fields of adduction were significantly more anterior in comparison to the manually guided centric relation.

Based on the obtained results, the manually guided centric relation may be recommended for maxillomandibular relationship record with functional healthy and functional impaired patients.



## Literaturverzeichnis

1. Abraham AP, Veeravalli PT. A positional analyzer for measuring centric slide. *J Indian Prosthodont Soc* 12 (4): 216–221, 2012.
2. Academy of Denture Prosthetics. Glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent* 6: Appendix, 1956.
3. Academy of Denture Prosthetics. Glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent* 20 (5): 443–480, 1968.
4. Academy of Denture Prosthetics. Glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent* 58 (6): 713–762, 1987.
5. Academy of Denture Prosthetics. Glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent* 71 (1): 41–112, 1994.
6. Ahlers MO, Jakstat HA. Klinische Funktionsanalyse. Kapitel 3.3. Auswertung und Prinzip der Diagnostik, 3. Aufl., Hrsg.: Ahlers, MO, Jakstat, HA. dentaConcept Verlag GmbH, Hamburg: 265–274, 2007.
7. Ahlers MO, Jakstat HA. Klinische Funktionsanalyse. Kapitel 5.1. Zahnärztliche Instrumentelle Funktionsdiagnostik, 3. Aufl., Hrsg.: Ahlers, MO, Jakstat, HA. dentaConcept Verlag GmbH, Hamburg: 523–524, 2007.
8. Al-Ani Z, Gray RJ, Davies SJ, Sloan P, Glenn AM. Stabilization splint therapy for the treatment of temporomandibular myofascial pain: a systematic review. *J Dent Educ* 69 (11): 1242–1250, 2005.
9. Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik (AFG) in der DGZMK. Nomenklaturvorschläge der Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik innerhalb der DGZMK. *Dtsch Zahnärztl Z* 47: 347, 1992.
10. Ash MM, Jr. Philosophy of occlusion: past and present. *Dent Clin North Am* 39 (2): 233–255, 1995.
11. Azarbal M. Comparison of Myo-Monitor centric position to centric relation and centric occlusion. *J Prosthet Dent* 38 (3): 331–337, 1977.
12. Baba K, Tsukiyama Y, Clark GT. Reliability, validity, and utility of various occlusal measurement methods and techniques. *J Prosthet Dent* 83 (1): 83–89, 2000.
13. Böhm A, Rammelsberg P, May H-C, Pho-Duc JM, Pospiech P, Gernet W. Direkte dreidimensionale elektronische Kondylenpositionsanalysen zur Bestimmung von RKP-IKP-Diskrepanzen. *Dtsch Zahnärztl Z* 50 (1): 35–39, 1995.
14. Boos RH. Basic factors of jaw position. *J Prosthet Dent* 4 (2): 200–203, 1954.
15. Boos RH. Centric relation and functional areas. *J Prosthet Dent* 9 (2): 191–196, 1959.
16. Boos RH. Intermaxillary relation established by biting power. *J Am Dent Assoc* 27: 1192–1199, 1940.

17. Borchers L, Jung T, Kpodzo-Yamoah E, Masterson J. Zur Reproduzierbarkeit der Relationsbestimmung. *Dtsch Zahnärztl Z* 34 (8): 599–602, 1979.
18. Boucher CO. Occlusion in prosthodontics. *J Prosthet Dent* 3 (5): 633–656, 1953.
19. Calagna LJ, Silverman SL, Garfinkel L. Influence of neuromuscular conditioning on centric relation registrations. *J Prosthet Dent* 30 (4): 598–604, 1973.
20. Campos AA, Nathanson D, Rose L. Reproducibility and condylar position of a physiologic maxillomandibular centric relation in upright and supine body position. *J Prosthet Dent* 76 (3): 282–287, 1996.
21. Celenza FV. The centric position: Replacement and character. *J Prosthet Dent* 30 (4): 591–598, 1973.
22. Dawson PE. New definition for relating occlusion to varying conditions of the temporomandibular joint. *J Prosthet Dent* 74 (6): 619–627, 1995.
23. Dawson PE. Temporomandibular joint pain-dysfunction problems can be solved. *J Prosthet Dent* 29 (1): 100–112, 1973.
24. Delbach HA. Klinisch-experimentelle Evaluation des Intraoral Pressuredependent Registration (IPR)-Systems zur maxillomandibulären Relationsbestimmung. *Med Diss Marburg*, 2005.
25. Denen HE. Movements and positional relations of the mandible. *J Am Dent Assoc* 25: 548–556, 1938.
26. DGFDT, DGzPW. Terminologie der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (DGFDT) und der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGzPW), 2005.
27. DGPro. Geschichte der Deutschen Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGzPW). [www.dgpro.de](http://www.dgpro.de), 2011.
28. DGPro, Morneburg TR, Hugger A, Türp JC, Schmitter M, Utz K-H, Freesmeyer WB, Rammelsberg P. Wissenschaftliche Mitteilung: Anwendung des Gesichtsbogens beim funktionsgesunden Patienten im Rahmen restaurativer Maßnahmen, 2010.
29. DGPro, Utz K-H, Schmitter M, Freesmeyer WB, Morneburg T, Hugger A, Türp JP, Rammelsberg P. Wissenschaftliche Mitteilung: Kieferrelationsbestimmung, 2010.
30. Dworkin SF. Perspectives on the interaction of biological, psychological and social factors in TMD. *J Am Dent Assoc* 125 (7): 856–863, 1994.
31. Dworkin SF, LeResche L. Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders: review, criteria, examinations and specifications, critique. *J Craniomand Disord* 6 (4): 301–355, 1992.
32. Dworkin SF, Massoth DL. Temporomandibular disorders and chronic pain: disease or illness? *J Prosthet Dent* 72 (1): 29–38, 1994.
33. Fehr CU. Theorie und Praxis des Artikulationsproblems. *Zahnärztl Welt* 3 (1): 7–9, 1948.

34. Felber M. Beeinflussen tageszeitliche Schwankungen die Größe und Lage des Adduktionsfeldes. Med. Diss. Bonn, 1982.
35. Figgenger L. Registrierbehelfe für die Kieferrelationsbestimmung bei teilbezahntem Kiefer mittels des intraoralen Pfeilwinkelregistrates. Quintessenz Zahntech 1988 14 (12): 1411–1415, 1988.
36. Freesmeyer WB, Körber E, Pielsticker W. Die Stützstiftregistrierung. Dental-Labor 35 (6): 753–759, 1987.
37. Fuhr K, Bansemer D, Zilz W. Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der zentralen Okklusion. Dtsch Zahnärztl Z 26 (2): 176–185, 1971.
38. Fuhr K, Reiber T. Das okklusale Konzept. In: Hupfaut, L. (Hrsg.): Praxis der Zahnheilkunde, Bd. 5: Festsitzender Zahnersatz. 3. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore: 177–194, 1993.
39. Gerber A. Die Micro-Denture-Methode nach McGrane. Schweiz Mschr Zahnheilk 65 (2): 129–130, 1955.
40. Gilboe DB. Centric relation as the treatment position. J Prosthet Dent 50 (5): 685–689, 1983.
41. Graser GN. An evaluation of terminal hinge position and neuromuscular position in edentulous patients. Part. I. Maxillomandibular recordings. J Prosthet Dent 36 (5): 491–500, 1976.
42. Grasso JE, Sharry J. The duplicability of arrow-point tracings in dentulous subjects. J Prosthet Dent 20 (2): 106–115, 1968.
43. Gschoßmann K, Müller J, Bruckner G, Schmid CH, Hochholzer M, Gernet W. Vergleich eines direkten mit einem indirekten Verfahren zur Kondylenpositionsanalyse. Dtsch Zahnärztl Z 50 (7): 547–52, 1995.
44. Gysi A. Artikulation. In: Bruhn, C. Kantorowicz, A. Partsch, C. (Hrsg.): Handbuch der Zahnheilkunde, Band 3, Zahnärztliche Prothetik, J. F. Bergmann, München. 1930.
45. Gysi A. Neuere Gesichtspunkte im Artikulationsproblem. Schw Vjschr Zahnh 22: 118–151, 1912.
46. Gysi A. The problem of articulation. Dental Cosmos 52 (1): 1–19, 1910.
47. Hanau RL. Occlusal changes in centric relation. J Am Dent Assoc 16: 1903–1911, 1929.
48. Hayashi H, Mizokami T. Studies of the antero-posterior tooth contact position through tapping based upon habitual small mandibular movements. Bull Tokyo Dent Coll 23: 83–112, 1982.
49. Hedderich J, Sachs L. Hypothesentest. In: Angewandte Statistik. 14. Aufl., Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg: 385–690, 2012.
50. Helkimo M, Ingervall B, Carlsson GE. Variation of retruded and muscular position of mandible under different recording conditions. . Acta Odontol Scand 29 (4): 423–437, 1971.

51. Hellmann D, Becker D, Giannakopoulos NN, Eberhard L, Fingerhut C, Rammelsberg P, Schindler H. Precision of jaw-closing movements for different jaw gaps. *Eur J Oral Sci* 122 (1): 49–56, 2014.
52. Hidaka O, Adachi S, Takada K. The difference in condylar position between centric relation and centric occlusion in pretreatment Japanese orthodontic patients. *Angle Orthod* 72 (4): 295–301, 2002.
53. Hodge L, Mahan PE. A study of mandibular movement from centric occlusion to maximum intercuspation. *J Prosthet Dent* 18 (1): 19–30, 1967.
54. Horn R, Vetter A. Untersuchungen zur Diffeferenz zwischen habitueller Interkuspitation und retraler Kontaktposition. *Dtsch Zahnärztl Z* 31 (4): 295–299, 1976.
55. Hromotka A. Die funktionelle Bissnahme. *Dtsch Zahnärztl Z* 15: 769–776, 1960.
56. Hugger A, Kordaß B, Assheuer J, Stüttgen U. Auswirkung stützstiftgeführter Unterkieferbewegungen auf Strukturen des Kiefergelenkes. *Dtsch Zahnärztl Z* 50 (7): 536–539, 1995.
57. Hugger A, Türp JC, Pröschel P, Strub JR, Stüttgen U. Die Anwendung von Gesichtsbögen in der restaurativen Therapie und Funktionsdiagnostik – welches Evidenzniveau liegt vor? *Dtsch Zahnärztl Z* 56 (11): 671–675, 2001.
58. Hupfauf L. Untersuchungen über die sogenannte Zentralokklusion. *Dtsch Zahnärztl Z* 18 (17): 983–985, 1963.
59. Hupfauf L. Vergleichende Untersuchungen verschiedener Registrierverfahren. *Dtsch Zahnärztl Z* 26 (2): 158–162, 1971.
60. Jakstat H, Gütschow F. Messung der aufgewendeten Kieferschlusskraft während der Stützstiftregistrierung bei vollbezahnten Probanden. *Dtsch Stomatol* 41 (4): 117–120, 1991.
61. Jankelson B, Adib F. Effect of variation in manipulative force on the repetitiveness of centric relation registration: a computer-based study. *J Am Dent Assoc* 113 (1): 59–62, 1986.
62. Jankelson B, Sparks S, Crane PF, Radke JC. Neural conduction of the myo-monitor stimulus: a quantitative analysis. *J Prosthet Dent* 34 (3): 245–253, 1975.
63. Jimenez ID. Electromyography of masticatory muscles in three jaw registration positions. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopaedics* 95 (4): 282–288, 1989.
64. Johnston LE. Gnathologic assessment of centric slides in postretention orthodontic patients. *J Prosthet Dent* 60 (6): 712–715, 1988.
65. Jordan T. Vergleich eines computergestützten Registrierungssystems mit dem klassischen Stützstiftregistrat nach Gerber. *Med diss Kiel*, 2002.
66. 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 (8): 273–275, 1991.

67. Jüde HD, Jakstat H, Vogel A, Genieser A. Über den Einfluss der Kieferschlusskraft auf das Ergebnis der Stützstiftregistrierung in der Sagittalen. *Dtsch Zahnärztl Z* 45 (9): 561–563, 1990.
68. Kabcenell JL. Effect of clinical procedures on mandibular position. *J Prosthet Dent* 14 (2): 266–278, 1964.
69. Kamps N. Untersuchungen über das Adduktionsfeld. *Med. Diss. Bonn*, 1978.
70. Kantor ME, Silvermann SI, Garfinkel L. Centric-relation recording techniques - a comparative investigation. *J Prosthet Dent* 28 (6): 593–600, 1972.
71. Kapur KK, Yurkstas AA. An evaluation of centric relation records obtained by various techniques. *J Prosthet Dent* 7 (6): 770–786, 1957.
72. Keshvad A, Winstanley RB. An appraisal of the literature on centric relation. Part I. *J Oral Rehabil* 27 (10): 823–833, 2000.
73. Keshvad A, Winstanley RB. An appraisal of the literature on centric relation. Part II. *J Oral Rehabil* 27 (12): 1013–1023, 2000.
74. Kingery R. A review of some of the problems associated with centric relation. *J Prosthet Dent* 2 (3): 307–319, 1952.
75. Kloos HM. Die zentrale und habituelle Okklusion. *Med. Diss. Mainz*, 1970.
76. Koeck B. Instrumentelle Funktionsdiagnostik. In: HUPFAUF, L. (Hrsg.): *Funktionsstörungen des Kauorgans*. 2. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore: 107–140, 1989.
77. Koeck B, Bierwirth JT. Die Veränderung der Ruheschwabe des Unterkiefers in Abhängigkeit von Schwerkraft, Kopf- und Körperhaltung. *Dtsch Zahnärztl Z* 41 (12): 1161–1165, 1986.
78. Koeck B, Lückerrath W. Instrumentelle Funktionsdiagnostik. In: Koeck, B. (Hrsg.): *Praxis der Zahnheilkunde*, Bd. 8: *Funktionsstörungen des Kauorgans*. 3. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore: 115–149, 1995.
79. Köhler L. Quantitative kritische Untersuchungen der Kieferbewegungen beim Zahnlosen und Bezahnten. *Dtsch Zahnärztl Z* 13: 495–501, 1958.
80. Koller M, Ludwig J, Voss R. Streubereiche von Handbißnahme und Stützstiftregistrierung. *Dtsch Zahnärztl Z* 38 (1): 40–43, 1983.
81. Kraft E. Über die Bestimmung der sogenannten Zentralokklusion. *Dtsch Zahnärztl Z* 16 (18): 1226–1231, 1961.
82. Lauritzen AG, Bodner GH. Variations in location of arbitrary and true hinge axis points. *J Prosthet Dent* 11 (2): 224–229, 1961.
83. Lentner E, Rammelsberg P, Böhm A, Pospiech P, Gernet W. Zum Untersuchereinfluss auf Lage und Reproduzierbarkeit der zentrischen Kondylenposition. *Dtsch Zahnärztl Z* 52 (6): 411–415, 1997.

84. Linsen SS, Stark H, Klitzschmüller M. Reproducibility of condyle Position and Influence of Splint Therapy on Different Registration Techniques in Asymptomatic Volunteers. *Cranio* 31 (1): 32–39, 2013.
85. Linsen SS, Stark H, Samai A. The influence of different registration techniques on condyle displacement and electromyographic activity in stomatognathically healthy subjects: A prospective study. *J Prosthet Dent* 107 (1): 47–54, 2012.
86. List T, Dworkin SF. Comparing TMD diagnoses and clinical findings at Swedish and US TMD centers using research diagnostic criteria for temporomandibular disorders. *J Orofac Pain* 10 (3): 240–253, 1996.
87. Lotzmann U. Die Prinzipien der Okklusion. Neuer Merkur GmbH, München, 1998.
88. Lucia VO. Centric relation – theory and practice. *J Prosthet Dent* 10 (5): 849–856, 1960.
89. Lucia VO. The fundamentals of oral physiology and their practical application in the securing and reproducing of records to be used in restorative dentistry. *J Prosthet Dent* 3 (2): 213–231, 1953.
90. Marxkors R, Solomon E. Studien zur habituellen und zentralen Okklusion im voll- und teilbezahnten Gebiß. *Dtsch Zahnärztl Z* 25 (8): 840–844, 1970.
91. Mayer K. Die Reproduzierbarkeit der instrumentellen Funktionsanalyse am Beispiel der Remontage nach Gerber. *Dtsch Zahnärztl Z* 47 (2): 107–108, 1992.
92. Mc Collum BB. The mandibular hinge axis and method of locating it. *J Prosthet Dent* 10 (3): 428–435, 1960.
93. McKee JR. Comparing condylar position repeatability for standardized versus nonstandardized methods of achieving centric relation. *J Prosthet Dent* 77 (3): 280–284, 1997.
94. Medlicott MS, Harris SR. A systematic review of the effectiveness of exercise, manual therapy, electrotherapy, relaxation training, and biofeedback in the management of temporomandibular disorder. *Phys Ther* 86 (7): 955–973, 2006.
95. Meyers FS. A new, simple and accurate technique for obtaining balanced and functional occlusion. *J Am Dent Assoc* 21: 195, 1934.
96. Myers M, Dziejma R, Goldberg J, Ross R, Sharry J. Relation of Gothic arch apex to dentist-assisted centric relation. *J Prosthet Dent* 44 (1): 78–81, 1980.
97. Obrez A, Stohler CS. Jaw muscle pain and its effect on gothic arch tracings. *J Prosthet Dent* 75 (4): 393–398, 1996.
98. Obrez A, Türp JC. The effect of musculoskeletal facial pain on registration of maxillomandibular relationships and treatment planning: a synthesis of the literature. *J Prosthet Dent* 79 (4): 439–445, 1998.
99. Ohnmacht P. Zahnärztliche Wachse. 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.

100. Okeson JP. Management of temporomandibular disorders and occlusion. Part 3: Treatment of functional disturbances of the masticatory system, 7th ed., Hrsg.: Okeson,JP. Elsevier Mosby, St. Louis, Missouri: 258–419, 2013.
101. Omatsu M. A study on the tapping point drawing method for registration of maxillomandibular relationships in edentulous patients: Part I. Influence of the tapping force on the tapping point. *Bull Tokyo Dent Coll* 37 (2): 63–69, 1996.
102. Palla S. Bestimmung der Kieferrelation. In: Koeck, B. (Hrsg.): *Praxis der Zahnheilkunde: Totalprothesen*. 4. Aufl., Urban & Fischer, München-Jena: 95–151, 2005.
103. Palla S. Die Bestimmung der vertikalen und horizontalen Kieferrelation. In: Hupfaut, L (Hrsg.): *Praxis der Zahnheilkunde*, Bd. 7: *Totalprothesen*. 2. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore: 107–160, 1987.
104. Pameijer J, Glickman I, Roeber WF. Intraoral occlusal telemetry II. Registration of tooth contacts in chewing and swallowing. *J Prosthet Dent* 19 (2): 151–159, 1968.
105. Phillips GP. Fundamentals in the reproduction of the mandibular movements in edentulous mouths. *J Am Dent Assoc* 14: 409–415, 1927.
106. Piehslinger E, Celar A, Celar R, Jaeger W, Slavicek R. Reproducibility of the condylar reference position. *Journal of Orofacial Pain* 7 (1): 68, 1993.
107. Posselt U. Studies in the mobility of the human mandible. *Acta Odontol Scand* 10: 19, 1952.
108. Pyott JE, Schaeffer A. Centric relation and vertical dimension by cephalometric roentgenograms. *J Prosthet Dent* 4 (1): 35–41, 1954.
109. Ramfjord SP, Ash MM, Jr. *Physiologie und Therapie der Okklusion*. Die Quintessenz, Berlin 1968.
110. Remien JC, Ash MM, Jr. Myo-Monitor centric: an evaluation. *J Prosthet Dent* 31 (2): 137–145, 1974.
111. Rieder CE. The prevalence and magnitude of mandibular displacement in a survey population. *J Prosthet Dent* 39 (3): 324–329, 1978.
112. Robinson MJ. Centric Position. *J Prosthet Dent* 1 (4): 384–386, 1951.
113. Roggendorf H, Voigt V. Präzision bei der intraoralen Stützstiftregistrierung: Vergleich der Messergebnisse in Abhängigkeit von der Registriermethode. *Zahn Prax* 11 (4): 282–287, 2008.
114. Sakurai K, Mizokami T. Fundamental study of the influence of stylus position of tracer on tapping area. *Bull Tokyo Dent Coll* 24: 147–174, 1983.
115. Sauer G. Bestimmung und kritischer Vergleich zweier Methoden zur Registrierung der sagittalen Unterkieferlage. *Dtsch Zahnärztl Z* 25 (5): 546–552, 1970.
116. Schröder D. Untersuchung zur Differenz zwischen Handbißnahme und Stützstiftregistrierung bei der Relationsbestimmung am Zahnlosen. *Dtsch. Zahnärztl Z* 31 (9): 725–729, 1976.

117. Schuyler CH. Intraoral method of establishing maxilo-mandibular relation. *J Am Dent Assoc* 19: 1012–1021, 1932.
118. Setz D, Hupfauf L. Vergleichene Untersuchungen über die Bestimmung der sagittalen Kieferbeziehungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 25 (8): 845–848, 1970.
119. Shafagh I, Amirloo R. Replicability of chinpoint-guidance and anterior programmer for recording centric relation. *J Prosthet Dent* 42 (4): 402–404, 1979.
120. Shafagh I, Yoder JL, Thayer KE. Diurnal variance of centric relation position. *J Prosthet Dent* 34 (5): 574–582, 1975.
121. Shanahan TE. Physiologic jaw relations and occlusion of complete dentures. *J Prosthet Dent* 5 (3): 319–324, 1955.
122. Shanahan TE. Physiologic vertical dimension and centric relation. *J Prosthet Dent* 6 (6): 741–747, 1956.
123. Silverman MM. The speaking method in measuring vertical dimension. *J Prosthet Dent* 3 (2): 193–199, 1953.
124. Smith HF, Jr. A comparison of empirical centric relation records with location of terminal hinge axis and apex of the Gothic arch tracing. *J Prosthet Dent* 33 (5): 511–520, 1975.
125. Smola A. Untersuchungen über das Adduktionsfeld und die Long Centric bei Probanden mit einer Distalbisslage des Unterkiefers. *Med Diss Bonn*, 1986.
126. Spring KL. Anatomisch registrierte oder physiologisch bestimmte zentrale Okklusionslage des Unterkiefers? . *Österr Z Stomatol* 50 (11): 572–580, 1953.
127. Tarantola GJ, Becker IM, Gremillion H. The reproducibility of centric relation: a clinical approach. *J Am Dent Assoc* 128 (9): 1245–1251, 1997.
128. Thriemer A, Gehre G, Jakstat H, Reiber T. Dimensionstreue, Konsistenz und Abbindeverhalten von Materialien zur Kieferrelationsbestimmung. *Dtsch Zahnärztl Z* 56 (10): 608–611, 2001.
129. Todić J, Lazić D, Radosavljević R. Correlation analysis of craniomandibular index and gothic arch tracing in patients with craniomandibular disorders. *Vojnosanit Pregl* 68 (7): 594–601, 2011.
130. Trage R. Untersuchung zur Position des Unterkiefers beim Vollbezahnten. *Dtsch Zahnärztl Z* 32 (2): 108–110, 1977.
131. Tripodakis AP, Smulow JB, Mehta NR, Clark RE. Clinical study of location and reproducibility of three mandibular positions in relation to body posture and muscle function. *J Prosthet Dent* 73 (2): 190–198, 1995.
132. Türp JC, John M, Nilges P, Jürgens J. Schmerzen im Bereich der Kaumuskulatur und der Kiefergelenke. *Schmerz* 14 (6): 416–428, 2000.
133. 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. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 107 (3): 298–308, 1995.



134. Utz K-H. Untersuchungen über Veränderungen der Interkuspitationsposition und der terminalen Scharnierachsenposition nach dem Einfügen von Totalprothesen. Med. Habil-Schr., Bonn, 1990.
135. Utz K-H, Bernard N, Hültenschmidt R, Kurbel R. Differenzen zwischen myozentrischer und zentrischer Kondylenposition bei Totalprothesenträgern. Dtsch Zahnärztl Z 49 (7): 557–562, 1994.
136. Utz K-H, Bernhard N, Hültenschmidt R, Wegmann U, Huntebrinker W. Reproduzierbarkeit der Pfeilwinkelregistrierung bei Vollbezahnten in Abhängigkeit vom Registratmaterial. Schweiz Monatsschr Zahnmed 102 (3): 299–307, 1992.
137. Utz K-H, Bernhard N, Wegmann U, Huntebrinker W. Reproduzierbarkeit der Pfeilwinkelregistrierung bei der Remontage von Totalprothesen. Schweiz Monatsschr Zahnmed 101 (4): 438–444, 1991.
138. Utz K-H, Duvenbeck H, Oettershagen K. Distanz zwischen terminaler Scharnierachsenposition und Interkuspitationsposition im Kiefergelenkbereich. Schweiz Monatsschr Zahnmed 100 (1): 42–49, 1990.
139. Utz K-H, Müller F, Bernard N, Hültenschmidt R, Kurbel R. Comparative studies on check-bite and central-bearing point method for the remounting of complete dentures. J Oral Rehabil 22 (9): 717–726, 1995.
140. Utz K-H, Müller F, Bernhard N, Hültenschmidt R, Kurbel R. Handbissnahme oder Stützstiftregistrierung zur Einstellung der maximalen Interkuspitation bei Totalendoprothesenträgern? Dt Zahnärztebl 102 (11): 780–791, 1993.
141. Utz K-H, Müller F, Lückenrath W, Fuß E, Koeck B. Accuracy of check-bite registration and centric condylar position. J Oral Rehabil 29 (5): 458–466, 2002.
142. Utz KH. Untersuchungen über Veränderungen der Interkuspitationsposition und der terminalen Scharnierachsenposition nach dem Einfügen von Totalprothesen. Med Habil-Schr, Bonn, 1990.
143. Vogel A. Objektive Messtechnik zur physiologischen Bestimmung der Unterkieferposition. ZWR 108 (3): 136–138, 1999.
144. Von Korff M, Ormel J, Keefe FJ, Dworkin SF. Grading the severity of chronic pain. Pain 50 (2): 133–149, 1992.
145. Walkhoff O. Die Ermittlung der zentralen Okklusion. Zahnärztl Rdsch 27: 466, 1926.
146. Weffort SY, de Fantini SM. Condylar displacement between centric relation and maximum intercuspitation in symptomatic and asymptomatic individuals. Angle Orthod 80 (5): 835–842, 2010.
147. Weinberg LA. A correlation of temporomandibular dysfunction with radiographic findings. J Prosthet Dent 28 (5): 519–539, 1972.
148. Weisbach M. Über den Einfluss der Kieferschießkraft und der Verschiebung des Stützstiftes in der Transversalen auf die intraorale Stützstiftregistrierung. Med. Diss. Bonn, 2006.

149. Willis FM. Features of the face involved in full denture prosthesis. *Dent Cosmos* 77: 851–854, 1935.
150. Woda A, Pionchon P, Palla S. Regulation of mandibular postures: mechanisms and clinical implication. *Crit Rev Oral Biol Med* 12 (2): 166–178, 2001.

## Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Antje Zorn, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Vergleich verschiedener Methoden zur Kieferrelationsbestimmung mit Hilfe des IPR-Systems“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

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

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

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

Datum

Unterschrift

**Anteilerklärung an etwaigen erfolgten Publikationen**

Antje Zorn hatte folgenden Anteil an folgender Publikation:

A. Zorn, I. Peroz, „Vergleich verschiedener Methoden zur Kieferrelationsbestimmung mit Hilfe des IPR-Systems“, Deutscher Zahnärztetag in Frankfurt am Main, 2010

Beitrag im Einzelnen:

Posterbeitrag wurde verfasst und präsentiert

Unterschrift, Datum und Stempel der betreuenden Hochschullehrerin

Unterschrift der Doktorandin

## **Danksagung**

Zuallererst gilt mein Dank meiner Doktormutter Frau PD Dr. Ingrid Peroz für die freundliche Überlassung des Themas dieser Arbeit. Ihre intensive Betreuung, wertvollen Anregungen und konstruktive Kritik haben das Gelingen dieser Arbeit erst ermöglicht.

Außerdem möchte ich mich bei der IPR-System GmbH bedanken, die die Geräte des Messsystems zur Verfügung gestellt haben.

Weiterhin möchte ich mich bei dem Dentallabor Jonas für die freundliche Zusammenarbeit bedanken und im Speziellen für die Bereitstellung des OrthaS®-Stuhls und die Anfertigung der IPR-Registrierschablonen.

Vielen Dank auch an die Patienten, ohne die diese Arbeit nicht realisierbar gewesen wäre.

Ich bedanke mich auch besonders bei Herrn Dr. Markus Roggensack für die intensive statistische Betreuung.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner lieben Mutti, meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die immer an mich geglaubt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem lieben Ehemann, der mich nicht nur in den Korrekturen, sondern vor allem unermüdlich mit geduldigem motivierendem Beistand unterstützt hat.

## **Lebenslauf**

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

## **Publikation**

Auszüge dieser Untersuchungen wurden bereits im Rahmen der Posterpräsentation

„Vergleich verschiedener Methoden zur Kieferrelationsbestimmung mit Hilfe des IPR-Systems“

(A. Zorn, I. Peroz)

auf dem Deutschen Zahnärztetag vom 10. – 13. November 2010 in Frankfurt am Main präsentiert.