



S2k-Leitlinie (Langversion)

# Instrumentelle zahnärztliche Funktionsanalyse

AWMF-Registernummer: 083-017

Stand: Dezember 2015

Gültig bis: Dezember 2020

**Federführende Fachgesellschaften:**

- Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFDT)
- Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK)

**Beteiligung weiterer Fachgesellschaften/ Organisationen:**

- Arbeitskreis Psychologie und Psychosomatik in der DGZMK (AKPP)
- Bundeszahnärztekammer (BZÄK)
- Deutscher Arbeitskreis für Zahnheilkunde (DAZ)
- Deutsche Gesellschaft für ästhetische Zahnmedizin (DGÄZ)
- Deutsche Gesellschaft für computergestützte Zahnheilkunde (DGCZ)
- Deutsche Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (DGMKG)
- Deutsche Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien (DGPro)
- Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung (KZBV)
- Verband Deutscher Zahntechniker-Innungen (VDZI)
- Verband medizinischer Fachberufe (VMF)

publiziert  
bei:

**Autoren:**

Prof. Dr. Karl-Heinz Utz (DGFD, Leitlinienkoordination)  
Prof. Dr. Alfons Hugger (DGFD, Leitlinienkoordination)  
Priv.-Doz. Dr. M. Oliver Ahlers (DGFD)  
Dr. Wolf-Dieter Seeher (DGFD)

**Ko-Autoren:**

Klaus Bartsch (VDZI)  
ZA Jochen Feyen (DGÄZ)  
Dr. Gunnar Frahn (DAZ)  
Sylvia Gabel (VMF)  
Prof. Dr. Bernd Kordaß (DGCZ)  
Dr. Birgit Lange-Lentz (KZBV)  
Prof. Dr. Dr. Andreas Neff (DGMKG)  
Prof. Dr. Peter Ottl (DGPro)  
Dr. Diether Reusch (DGÄZ)  
Prof. Dr. Olaf Winzen (BZÄK)  
Priv.-Doz. Dr. Anne Wolowski (AKPP)

**Methodische Begleitung:**

Dr. Silke Auras (DGZMK, Leitlinienbeauftragte)  
Dr. Cathleen Muche-Borowski (AWMF)

**Jahr der Erstellung:** Dezember 2015

**vorliegende Aktualisierung/ Stand:** Dezember 2015

**gültig bis:** Dezember 2020

*Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollen aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.*

## INHALTSVERZEICHNIS

Informationen zur Leitlinie .....	1
Vorbemerkungen .....	2
Teil 1: Instrumentelle Bewegungsanalyse .....	3
1. Definition und Entwicklung .....	3
2. Ziele .....	5
3. Nutzen .....	7
Teil 2: Kondylenpositionsanalyse .....	12
1. Definition und Entwicklung .....	12
2. Ziele .....	13
3. Methoden zur Beschreibung kondylärer Positionen und deren Beurteilung .....	14
4. Nutzen .....	17
Teil 3: Kieferrelationsbestimmung: Horizontale Kieferrelationsbestimmung mittels Stützstift- Registrierung .....	19
1. Definition und Entwicklung .....	19
2. Ziele .....	21
3. Einflüsse der Aufzeichnungsbedingungen, Reproduzierbarkeit, Unterschiede zwischen Verfahren, Diagnostik, praktische Hinweise .....	22
4. Zusammenfassung .....	26
Teil 4: Oberflächen-Elektromyographie der Kaumuskulatur in der zahnärztlichen Anwendung .....	28
1. Definition und Entwicklung .....	28
2. Ziele .....	29
3. Nutzen .....	29
Zukünftiger Forschungsbedarf .....	32
Literaturverzeichnis .....	34
Spezielle und weiterführende Literaturverzeichnisse, nicht im Text zitiert .....	43

## Informationen zur Leitlinie

Vor dem Hintergrund multipler verschiedener Untersuchungstechniken und -instrumente in der instrumentellen zahnärztlichen Funktionsanalyse werden handlungsleitende Hilfestellungen vielfach vermisst. Eine geeignete Orientierungshilfe wird mit der vorliegenden Leitlinie insbesondere im Hinblick auf Einteilung, Zielsetzung und Nutzen sowie zu erwartende therapeutische Konsequenzen der verfügbaren Techniken und Instrumente vorgelegt.

Die letzte wissenschaftliche Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFD) zum Thema "Instrumentelle Funktionsanalyse" datiert vom 01.05.2002 [48]. Sie wurde am 01.01.2003 überarbeitet [49]. Diese frühere Stellungnahme soll durch die Leitlinie ersetzt werden und erfährt dabei eine methodische Aufwertung durch formale Konsensbasierung in einer interdisziplinär zusammengesetzten, repräsentativen Expertengruppe (S2k-Leitlinie). Darüber hinaus wurden in den letzten zehn Jahren neue instrumentelle Verfahren entwickelt, die es zu berücksichtigen galt.

Im Kontext des DIMDI Health Technology Assessment (HTA)-Report [198] wurde eine Leitlinie zur Instrumentellen Funktionsanalyse ebenfalls vermisst.

### **Patienten- und Anwenderzielgruppen**

Die Leitlinie betrifft alle Patientengruppen in der ambulanten Versorgung, deren kranio-mandibuläres System einer funktionellen Untersuchung und Therapie unterzogen wird. Sie richtet sich an Zahnärztinnen und Zahnärzte.

### **Ausnahmen von der Leitlinie**

Inhaltlich wurde die Thematik "Kieferrelationsbestimmung" bereits in der "Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien e.V. (vormals DGZPW): Kieferrelationsbestimmung" umfassend und derzeit noch zutreffend erläutert und diskutiert [219].

Die handgeführte horizontale sowie die vertikale Kieferrelationsbestimmung sind nicht Gegenstand dieser Leitlinie.

### **Schlüsselfragen**

Übergeordnet wurden folgende 3 Schlüsselfragen formuliert:

- Was wird unter instrumenteller zahnärztlicher Funktionsanalyse (InstrFA) verstanden?
- Welche Ziele werden mit der Anwendung bestimmter Methoden der InstrFA verfolgt?
- Welcher konkrete Nutzen ergibt sich aus der Anwendung bestimmter Methoden der InstrFA in der zahnärztlichen Diagnostik und Therapie für den Patienten?

Spezifische Fragestellungen finden sich darüber hinaus in den einzelnen Kapiteln.

## Methodisches Vorgehen

Es handelt sich um eine konsensbasierte S2k-Leitlinie nach den Vorgaben der AWMF. Die teilnehmenden Gesellschaften haben für die Erstellung dieser Leitlinie keine finanziellen oder andere Unterstützung von kommerziellen Interessengruppen erhalten. Eine Aktualisierung der Leitlinie ist für das Jahr 2020 geplant. Details zum methodischen Vorgehen sowie zur redaktionellen Unabhängigkeit sind dem Leitlinienreport zu entnehmen.

## Vorbemerkungen

### Allgemeine Definition und Einteilung der instrumentellen zahnärztlichen Funktionsanalyse

Unter dem Begriff der instrumentellen Funktionsanalyse (InstrFA) werden im zahnärztlichen Bereich Untersuchungsmethoden verstanden, die unter Zuhilfenahme spezieller Instrumente und Geräte eine in quantitativer bzw. qualitativer Hinsicht ausgerichtete Beurteilung der Funktion des kranio-mandibulären Systems ermöglichen. Die Betrachtung der Funktion kann sich dabei auf unterschiedliche Aspekte fokussieren, vor allem auf

- kinematische Aspekte des Unterkiefers (Aufzeichnung von Bewegungen und deren Analyse [*instrumentelle Bewegungsanalyse*] zur Programmierung von Artikulatoren und / oder zur Bestimmung der Funktionstüchtigkeit des kranio-mandibulären Systems),
- die Kondylenposition (*Kondylenpositionsanalyse*),
- die Kieferrelation (*horizontale Kieferrelationsbestimmung mittels Stützstift-Registrierung*) und auf
- Aspekte der Muskelaktivität der Kiefermuskulatur bei bestimmten Unterkieferhaltungen / Unterkieferlagen, Unterkieferbewegungen oder komplexen Aufgaben wie dem Kauen (insbesondere *Elektromyographie der Kaumuskulatur*).

Dementsprechend ist die Leitlinie "Instrumentelle Funktionsanalyse" in vier Kapitel gegliedert:

Teil 1: "Instrumentelle Bewegungsanalyse",

Teil 2: "Kondylenpositionsanalyse",

Teil 3: "Kieferrelationsbestimmung" und

Teil 4: "Oberflächen-Elektromyographie der Kaumuskulatur in der zahnärztlichen Anwendung".

## Teil 1: Instrumentelle Bewegungsanalyse

### 1. Definition und Entwicklung

#### 1.1 Definition

Die instrumentelle Bewegungsanalyse stellt eine zahnärztliche Untersuchungsmethode dar, die die Unterkiefer-Bewegungsfunktion eines Patienten mit speziellen Messsystemen (so genannten Registriersystemen) erfasst. Die Bewegungsaufzeichnungen, die neben eigentlichen Bewegungsabläufen auch den Vergleich verschiedener Unterkiefer-Positionen umfassen können, werden anschließend von der Zahnärztin / dem Zahnarzt anhand von Auswertungskriterien analysiert und daraus Schlussfolgerungen gezogen. Diese Schlussfolgerungen betreffen einerseits die funktions- und strukturbezogene Diagnostik des Kausystems, andererseits die okklusionsbezogene sowie die zahnärztlich-restaurativ orientierte Therapieplanung, Therapiegestaltung und Rehabilitation.

[12 Zustimmung / 1 Ablehnung / 1 Enthaltung]

Von der instrumentellen Bewegungsanalyse ist die instrumentelle Okklusionsanalyse zu unterscheiden [27, 85, 116, 119]:

- Die instrumentelle Bewegungsanalyse erfasst die Bewegungsfunktion mit geeigneten Messsystemen auf kinematischer Grundlage. Im Fokus der Betrachtung stehen Unterkieferbewegungen mit zahngeführten und nichtzahngeführten Bewegungsanteilen.
- Die instrumentelle Okklusionsanalyse beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit einem spezifischen Ausschnitt von Bewegungen und Positionen, d. h. mit der okklusalen Situation bei statischer und dynamischer Okklusion. Zu diesem Zweck bedient man sich bei der instrumentellen Okklusionsanalyse in der Regel eines Artikulators, der die okklusale Situation anhand montierter Kiefermodelle veranschaulicht. Mit Hilfe moderner Computertechnologie ist zunehmend auch die Darstellung und Analyse der Okklusalsituation in virtueller Simulation möglich [114].

Die Erfassung der Kinematik kann zudem mit der Detektion von Kiefergelenkgeräuschen (Vibrationsanalyse) oder mit der Aufzeichnung der Muskelaktivität der Kiefermuskulatur, insbesondere des M. masseter und des M. temporalis pars anterior, kombiniert werden (so genannte kinematische Oberflächen-Elektromyographie) [97, 113]. Nachfolgende Ausführungen zur instrumentellen Bewegungsanalyse beziehen sich – wie oben erwähnt – ausschließlich auf rein kinematische Aspekte.

#### 1.2 Entwicklung

Das Bestreben, Bewegungen des Unterkiefers aufzuzeichnen und zu dokumentieren, hat sich im zahnärztlichen Bereich zu Beginn des 20. Jahrhunderts intensiviert [80, 142, 143]. Vor allem mit mechanischen Aufzeichnungssystemen wurden grundlegende Untersuchungen durchgeführt, die insbesondere mit Namen wie Gysi, McCOLLUM und STUART, SCHRÖDER sowie GERBER verbunden sind.

Neben forschungsbezogenen Aspekten hatten diese Untersuchungen zum Ziel, die okklusale Gestaltung zahnärztlich-restaurativer Arbeiten auf den individuellen Patienten ausgerichtet zu optimieren. Hierfür lieferte die Bewegungsaufzeichnung patientenbezogene Werte für die Einstellung der Führungselemente von Artikulatoren ("Artikulatorprogrammierung") [27, 165, 166]. Seit den 1970er Jahren gewann die Bewegungsaufzeichnung darüber hinaus an Bedeutung für die Beurteilung der Beweglichkeit und Koordination des Unterkiefers sowie der Lage und Stabilität von Unterkiefer-Ausgangspositionen in Bezug zu entsprechenden Bewegungsausführungen [42, 97, 124]. Dieser weitere funktionsdiagnostische Aspekt von Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen wurde zudem durch Studien unterstrichen, die die Bedeutung struktureller intraartikulärer Veränderungen des Kiefergelenkes für die Ausbildung von Funktionsstörungen untersuchten und die als Grundlage der Behandlung dieser Funktionsstörungen okklusale Maßnahmen vorsahen [160].

Ausgehend von Entwicklungen der 1970er und 1980er Jahre wurden verstärkt Anstrengungen unternommen, den zum Teil hohen zeitlichen, apparativen bzw. personellen Aufwand bei mechanischer Aufzeichnung zu reduzieren, das Aufzeichnen von Unterkieferbewegungen mit Hilfe elektronischer Messsysteme zu verbessern und praxistauglich zu gestalten, gleichzeitig aber auch die Genauigkeit und Auswertbarkeit der Aufzeichnungen zu erhöhen. Für den Einsatz in der zahnärztlichen Praxis stehen seit vielen Jahren elektronische Geräte zur Verfügung, die auf der Basis unterschiedlicher Messtechnologien eine Bewegungserfassung des Unterkiefers erlauben [18, 38, 113, 118]. Diese speziell auf den zahnmedizinischen Bereich fokussierte Bewegungserfassung ist grundsätzlich vergleichbar mit Verfahren, die zur bewegungs- bzw. haltungsbezogenen Funktionsdiagnostik in anderen Bereichen des muskuloskelettalen Systems des Menschen zum Einsatz gelangen, beispielsweise mit der Ganganalyse im orthopädisch-chirurgischen Kontext oder mit instrumentellen Untersuchungsverfahren in der Rehabilitations-, Arbeits- und Sportmedizin [12, 146, 224].

Bei extraoraler Applikation zeichnen die verschiedenen praxistauglichen elektronischen Messsysteme Unterkieferbewegungen mit Hilfe entsprechender Sensoren gelenknah (kondylennah), inzisalnah oder okklusionsebenennah auf. Folgende Systemgruppen lassen sich unterscheiden:

- Gruppe 1: gelenkfern/ inzisalnah messende Systeme
- Gruppe 2: gelenknah und berührungshaft messende Systeme
- Gruppe 3: gelenknah und berührungslos messende Systeme
- Gruppe 4: okklusionsebenennah und berührungslos messende Systeme.

Bei Erfassung aller sechs Freiheitsgrade sind diese Systeme in der Lage, auf beliebige Punkte des Unterkiefers umzurechnen [80, 112].

## 2. Ziele

### 2.1 Grundlegende Ziele der instrumentellen Bewegungsanalyse

Die instrumentelle Unterkiefer-Bewegungsanalyse soll Informationen zu einem oder mehreren der nachfolgenden Punkte liefern.

- Patientenindividuelle Werte mit dem Ziel, zahnärztliche Maßnahmen und zahntechnische Prozesse auf funktionell individuelle Gegebenheiten des Patienten auszurichten und zu optimieren (sog. individuelle Artikulatoreinstellung, Artikulatorprogrammierung bzw. Bewegungssimulation).  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]
- Präzisierung dysfunktioneller bewegungsbezogener Erscheinungsformen im Rahmen funktionsorientierter Diagnostik (Funktionsdiagnostik). Im diagnostischen Prozess liefert die instrumentelle Bewegungsanalyse als weiterführendes Untersuchungsverfahren zusätzliche, auf der klinischen Funktionsanalyse aufbauende Informationen, die zur Spezifizierung klinisch basierter Diagnosen führen (qualitativer Aspekt). Ferner erlaubt sie, das Ausmaß bzw. den Schweregrad funktioneller Beeinträchtigung differenzierter darzustellen (quantitativer Aspekt).  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]
- Auswertung und Dokumentation bewegungsbezogener Veränderungen im Verlauf der Anwendung therapeutischer Maßnahmen im Rahmen der Funktionstherapie. Im therapeutischen Kontext liefert die instrumentelle Bewegungsanalyse Anhaltspunkte für die Verbesserung des Funktionsgeschehens und dokumentiert funktionsbasierte Veränderungen im Behandlungsverlauf.  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

### 2.2 Spezielle Zielsetzungen

Im Zuge eines zunehmend sich entwickelnden digitalen Workflows in der restaurativen Zahnmedizin ist die instrumentelle Bewegungsanalyse als eine wichtige Ergänzung anzusehen, um die individuelle Bewegungsfunktion des Unterkiefers messtechnisch für die okklusale Gestaltung von Restaurationen im CAD/CAM-Prozess abzubilden [114, 116]. Der Einsatz elektronischer Verfahren im Rahmen der instrumentellen Bewegungsanalyse ermöglicht die für den genannten Herstellungsprozess erforderliche individuelle, patientenbezogene Datengenerierung zur realistischen Simulation zahngeführter Bewegungen [84].

Im Bereich der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik baut die instrumentelle Bewegungsanalyse auf der klinischen Funktionsanalyse auf [37, 113, 118]. Die klinische Funktionsanalyse ist der erste Schritt zur Beurteilung des Funktionszustandes eines Patienten mit Funktionsstörungen des Kausystems und soll daher der instrumentellen Bewegungsanalyse vorausgehen.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]



Neben der Erfassung der subjektiv vom Patienten angegebenen Beschwerden (insbesondere Schmerzen, aber auch Bewegungsbeeinträchtigungen oder als störend empfundene Gelenkgeräusche) ist das Erheben von objektivierenden Befunden für die Zahnärztin / den Zahnarzt bedeutsam: Zum einen gilt dies grundlegend für den diagnostischen Prozess, der eine klinische Diagnosestellung ermöglicht; zum anderen liefert die Gegenüberstellung bzw. das Nebeneinander von subjektiven Eindrücken und objektiven Befunden wichtige Impulse auf der Ebene der Patienten-Arzt-Interaktion im Therapieverlauf (Veranschaulichung, Motivation). Die instrumentelle Bewegungsanalyse ergänzt und spezifiziert die objektivierende Befunderhebung: Für den Aspekt der Unterkieferbewegungen ermöglicht sie eine differenzierte Beurteilungen des Funktionszustandes in qualitativer und quantitativer Hinsicht [117]. Damit ist die instrumentelle Bewegungsanalyse also kein Untersuchungsverfahren, das die klinische Funktionsanalyse und die sich daraus ableitende Diagnosegenerierung unter Einsatz von Messgeräten *ersetzt* und überflüssig macht, sondern ein Verfahren, das die Untersuchung des Kausystems unter dem Blickwinkel der Mobilität (Kapazität, Koordination und okklusale Zentrierung) des Unterkiefers spezifisch erweitert [7, 81, 84].

#### *Bezeichnungen und Begriffe:*

Neben der Bezeichnung "Funktionsstörung des Kausystems" sind die Begriffe "kranio-mandibuläre Dysfunktion (CMD)" und "temporomandibular disorder (TMD)" gebräuchlich. Diese Begriffe sind allerdings nicht synonym und als synonyme Begriffe für bestimmte muskuloskelettale Erkrankungen im Gesichts-/Kopfbereich zu verstehen, da CMD und TMD auf verschiedene klinische Aspekte – Dysfunktion einerseits und Schmerz andererseits – fokussieren, die aber in unterschiedlicher Form und Ausprägung in Beziehung stehen. Der Begriff "Myoarthropathie des Kausystems (MAP)" lässt sich vor diesem Hintergrund eher der Bezeichnung TMD zuordnen. Als Beispiel einer möglichen Interaktion zwischen Dysfunktion und Schmerz sind motorische Adaptationen im Zusammenhang mit lang anhaltenden Schmerzen möglich, die nach einer Schmerzbeseitigung nicht spontan reversibel sind, da es auf der strukturbezogenen Ebene zu manifesten Veränderungen gekommen ist. Auch im Rahmen von Funktionseinschränkungen, die aus prothetisch-restaurativem Blickwinkel betrachtet als relevant einzustufen sind – zum Beispiel Zahnverlust, Zahnelongationen und Zahnwanderungen – , sind dysfunktionelle motorische Adaptationen zu erwarten [81].

Bei Störungen der Funktion (Dysfunktionen) kann eine instrumentell basierte Diagnostik und Verlaufskontrolle angezeigt sein. Dies gilt auch bei biomechanischer Umstellung der Gebisse Erwachsener im Rahmen kieferorthopädischer und/oder kieferchirurgischer Maßnahmen.  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Die instrumentelle Bewegungsanalyse ist keine Methode der Schmerzerfassung und soll nicht als solche eingesetzt werden.  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Die instrumentelle Bewegungsanalyse ist auch keine Form der objektiven "Schmerzbefundung" oder eine Methode der Schmerzbehandlung. Vielmehr dient die instrumentelle Bewegungsanalyse dazu,

Auswirkungen eines orofazialen Schmerzgeschehens auf die Bewegungsfunktion zu beurteilen, und hilft, die Beziehung zwischen Schmerzgeschehen einerseits und Funktionsfähigkeit andererseits auf der Stufe der Diagnosestellung wie auch auf der Stufe des Therapieverlaufs zu klären [200, 201].

Die instrumentelle Bewegungsanalyse ermöglicht das detaillierte Erkennen und Abschätzen des Ausmaßes an Funktionsbeeinträchtigung sowohl für den Patienten wie auch für die Zahnärztin / den Zahnarzt im Hinblick auf Bewegungskapazität, Koordination und okklusale Zentrierung.  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Angewendet in der Phase der therapeutischen Bemühungen (Funktionstherapie) ist die instrumentelle Bewegungsanalyse auch als Feedback nutzbar im Sinne einer verstärkten Einbindung des Patienten im Behandlungsprozess. Anhand der instrumentellen Bewegungsanalyse können Veränderungen in der Funktionsfähigkeit bzw. -tätigkeit dargestellt und verfolgt werden; sie ist hilfreich in der klinischen Entscheidungsfindung bei Fragestellungen, die weitere/ergänzende Maßnahmen im Rahmen der Funktionsdiagnostik bzw. Funktionstherapie betreffen oder die Art und Weise der okklusalen Gestaltung bei zahnärztlich-restaurativen Maßnahmen beinhalten [81, 153, 186].

### 3. Nutzen

#### 3.1 Validität und klinische Reliabilität elektronischer Bewegungsaufzeichnungen

Die derzeitige Datenlage entsprechender Studien (siehe Literaturverzeichnis, Abschnitt Validität bzw. klinische Reliabilität elektronischer Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen) ist wie folgt:

**Validität:** Anhand der identifizierten Studien wird festgestellt, dass für elektronische Messsysteme im Allgemeinen die mittlere maximale Abweichung für berechnete Scharnierachsenpunkte bei  $\leq 2$  mm liegt. Die mittlere Abweichung für Strecken beträgt  $\leq 0,3$  bis  $0,5$  mm, wobei durch hardware- bzw. softwareseitige Verbesserungen in Form einer optimierten Positionierung bzw. Ausrichtung der Messsensoren und Implementierung von Korrekturprozeduren die mittleren Abweichungen auf  $\leq 0,1$  bis  $0,2$  mm reduziert werden. Die mittlere maximale Abweichung für Winkelwerte (insbesondere für Werte der sagittalen Kondylenbahnneigung und des Bennett-Winkels) werden mit  $\leq 3$  bis  $5$  Grad beziffert.

**Klinische Reliabilität:** Grundsätzlich sind für jegliche Formen der Bewegungsausführung – seien sie auf inzisale oder kondyläre Bewegungen bezogen – natürliche, biologische Schwankungen im Sinne intraindividuelle wie auch interindividuelle Variabilität festzustellen. In der Regel weisen

Bewegungsaufzeichnungen innerhalb eines Untersuchungstermins eine höhere Übereinstimmung auf als Aufzeichnungen, die zu verschiedenen Untersuchungsterminen erstellt wurden. Wie bei allen an und durch Menschen durchgeführten Untersuchungen beeinflussen der Grad an Instruktion und das Training auf Seiten des Probanden / Patienten wie auch des Untersuchers das Ausmaß an Schwankungen bei bewegungsbezogenen Daten. Der jeweilige Funktionszustand des Kausystems (funktionsgesund vs. verschiedene Ausprägungen kranio-mandibulärer Dysfunktion) nimmt ebenfalls Einfluss auf Reproduzierbarkeit bzw. Schwankungsbreite der Bewegungsausführung. Öffnungs- und Schließbewegungen zeigen durch verstärkte neuromuskuläre Beeinflussung in der Regel eine höhere Variabilität in Bezug auf das Bewegungsmuster und eine größere Streuung in Bezug auf die Bahnlänge als zahngeführte und damit okklusal determinierte Bewegungsausführungen bei Vorschub- und Seitwärtsbewegungen. Hinsichtlich kondylär bezogener Parameter sind Werte für die sagittale Kondylenbahnneigung mit einer größeren intra- und intersessionalen Übereinstimmung versehen als Werte für den Bennett-Winkel.

Einzelne Bewegungsabläufe sollen mehrfach aufgezeichnet werden, um zufällige Erscheinungen (qualitativ wie auch quantitativ) von konstant auftretenden Befunden zu unterscheiden.  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 2 Enthaltung]

Insgesamt sind Bewegungsaufzeichnungen des Unterkiefers – unter Beachtung messtechnischer und untersuchungsbezogener Einflüsse und in Kenntnis physiologischer Prozesse – ausreichend zuverlässig (reliabel), um im Kontext anamnestischer und klinischer Befunde diagnostische und therapeutische Schlussfolgerungen zu treffen.  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

### 3.2 Kriterien für die Auswertung von Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen

Die Analyse der Bewegungsfunktion des Unterkiefers soll entsprechend der Kriterien des Konsensuspapiers der DGFDT<sup>1</sup> erfolgen (zusammengefasst in einer Kriterienmatrix).  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Mit Hilfe der instrumentellen Bewegungsanalyse lassen sich folgende Daten für die **Einstellung eines Artikulators bzw. die Programmierung eines Bewegungssimulators** (dynamische Funktionsparameter) erheben: u. a.

- Werte für sagittale Kondylenbahnneigungswinkel (Winkel der Protrusionsbahnen)
- Bennett-Winkel

<sup>1</sup> "Stellungnahme im Rahmen der Erarbeitung von Diagnostischen Kriterien für Dysfunktion: Die Bewegungsfunktion des Unterkiefers: Konzept zur Strukturierung von Analysekriterien und zur Standardisierung bei der computerunterstützten Aufzeichnung" (Konsensus-Workshop des Arbeitskreises Kaufunktion und Orale Physiologie am 16.11.2012 im Rahmen der 45. Jahrestagung 2012 der DGFDT in Bad Homburg) [81]

- immediate Sideshift
  - sagittale und frontale Frontführungswinkel.
- [10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Folgende weitere Aspekte der Bewegungsfunktion sind mit Hilfe der instrumentellen Bewegungsanalyse – geeignete Messsysteme und Untersuchungsprotokoll mit standardisiertem Vorgehen vorausgesetzt – beurteilbar:

- **Bewegungskapazität** zur Erfassung des Ausmaßes maximaler Bewegungsmöglichkeiten im Sinne der so genannten neuromuskulären Grenzbewegungen
  - **Koordination** des Ablaufes von Bewegungen am jeweiligen Betrachtungsort sowie der Beziehung zwischen rechter und linker Unterkieferseite
  - **Okklusale Stabilität und gelenkbezogene Zentrierung** zur Erfassung der Reproduzierbarkeit der Ausgangs-/ Referenzposition des Unterkiefers.
- [10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Zudem lassen sich Aufzeichnungen der beim Kauen vollzogenen Unterkieferbewegungen (**kinematische Kaufunktionsanalyse**, zum Teil in Kombination mit Elektromyographie) dazu nutzen, Daten für spezifische, das Kauen charakterisierende Parameter zu liefern – unter Berücksichtigung der hierzu erforderlichen speziellen Voraussetzungen (Standardisierung des Kaugutes etc.): u. a. Kaufrequenz, Dauer der Kausequenz, Anzahl der Kauzyklen, Dauer der Kauzyklen, kumulative Länge der Inzisalbahn [81].

Darüber hinaus erlaubt die Auswertung gelenknaher Bewegungsaufzeichnungen (so genannter Kondylenbahnen, die vornehmlich Öffnungs-/Schließbewegungen bzw. Vorschubbewegungen berücksichtigen) diagnostische Struktur bezogene Rückschlüsse auf die intraartikuläre Situation, insbesondere zur Diskus-Kondylus-Beziehung [16, 17, 80, 112, 160].

### 3.3 Struktur bezogenes diagnostisches Potenzial von Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen

*Kondyläre* Bewegungsaufzeichnungen weisen eine höhere Spezifität als Sensitivität auf. In Bezug auf Diskusverlagerungen werden richtig negative Befunde zu einem relativ höheren Prozentsatz ermittelt als richtig positive Befunde; anders ausgedrückt ist die Wahrscheinlichkeit für falsch positive Befunde deutlich niedriger als für falsch negative Befunde. Hinzu kommt, dass die Spannbreite der Werte für die Sensitivität deutlich größer ist als diejenige für die Spezifität. Werden die Angaben zur Sensitivität und Spezifität zur diagnostischen Genauigkeit zusammengefasst (Quotient aus der Zahl richtig positiver und negativer Befunde durch die Gesamtzahl der Befunde), ergeben sich im Mittel Werte in einem Bereich um 0,7 bis 0,8 (siehe Literaturverzeichnis, Abschnitt Struktur bezogenes diagnostisches Potenzial von Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen).

Im Gegensatz zu *kondylären* Bahns Spuren zeigen die auf *inzisale* Bewegungsbahnen bezogenen Befunde Deviation und Deflexion eine in der Regel geringe bis mäßige Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit. Ebenfalls auf inzisale Bewegungen bezogene Befunde plötzlicher Geschwindigkeitsveränderungen zeigen hohe Sensitivitätswerte in Verbindung mit einer sehr geringen Spezifität, so dass besonders bei diesem Kriterium die Gefahr einer hohen Zahl falsch positiver Befunde besteht [135]. Durch gezielte Zusammenfassung inzischer und kondylärer Parameter verbessert sich die diagnostische Zuverlässigkeit [117].

Eine auf *inzisale* Bewegungsauffälligkeiten gründende *Gelenkdiagnostik* birgt im Vergleich zur Analyse *kondylärer* Bewegungsbahnen in hohem Maße die Gefahr der Fehldiagnose und soll daher in der klinischen Praxis nicht zur Anwendung kommen.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

*Kondyläre* Bewegungsaufzeichnungen lassen mit Einschränkungen Rückschlüsse auf die intraartikuläre Situation zu, insbesondere zur Kondylus-Diskus-Beziehung und eingeschränkt zum artikulären Strukturzustand. Die Einschränkungen betreffen den Umstand, dass die Folgerungen aus den Bewegungsbefunden mit Unsicherheit behaftet sind und eine höhere Wahrscheinlichkeit für falsch negative Befunde als für falsch positive Befunde besteht, da die Sensitivität geringer als Spezifität ist.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Infolge der geringen Sensitivität ist die instrumentelle Bewegungsanalyse zum *Screening* hinsichtlich intraartikulärer Störungen nicht geeignet.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

### 3.4 Nutzen für den Patienten / therapeutische Konsequenzen aus Bewegungsaufzeichnungen

Zur **Einstellung eines Artikulators bzw. der Programmierung eines Bewegungssimulators** mit dem Ziel, zahnärztliche Maßnahmen und zahntechnische Prozesse auf funktionell individuelle Gegebenheiten des Patienten auszurichten und zu optimieren, werden individuelle Werte für dynamische Funktionsparameter (s.o.) aus Bewegungsaufzeichnungen – vor allem aus Protrusions- und Laterotrusionsbewegungen – gewonnen. Das Ziel der Übertragung der individuell ermittelten Werte in den Artikulator / Bewegungssimulator ist es, die Bewegungen des technischen Gerätes "Artikulator / Bewegungssimulator" soweit wie möglich den tatsächlichen Bewegungen des Patienten anzugleichen. Dies zielt u. a. darauf ab, zahntechnische Arbeiten ohne umfangreiche okklusale Korrekturen im Mund des Patienten einzugliedern. Damit wird dem Patienten die Adaptation erleichtert, indem die zahntechnische Gestaltung der Okklusalfächen möglichst optimal auf individuelle funktionelle Gegebenheiten abgestimmt und auf biomechanische Erfordernisse ausgerichtet ist [7, 81].

Für den Bereich der **zahnärztlichen Funktionstherapie** ergeben sich Folgerungen vor allem aus nachfolgend aufgeführten Befunden. Diese können anhand der klinischen Funktionsanalyse und ggf. der manuellen Strukturanalyse zwar grundsätzlich bestimmt werden, sind jedoch durch die instrumentelle Bewegungsaufzeichnung differenzierter (nach Beeinträchtigung im kondylären und/ oder inzisalen Bereich unterschieden), präziser und detaillierter (in Bezug auf Ausmaß/ Schweregrad und zeitliches Auftreten) beurteilbar und nicht zuletzt metrisch erfassbar (Auflistung nicht abschließend) [7, 81, 115]:

- Einschränkungen der Bewegungskapazität (Limitation)
- deutlich erhöhte Mobilitätswerte (Hypermobilität)
- auffällig veränderte/ gestörte Koordination (bei Öffnungs- und Schließbewegungen, bei Seitenschubbewegungen im Seitenvergleich)
- fehlende okklusale und/ oder kondyläre Zentrierung.

## Teil 2: Kondylenpositionsanalyse

### 1. Definition und Entwicklung

#### 1.1 Definition

Eine Kondylenpositionsanalyse erfasst dreidimensional vergleichend die Stellungen kondylärer Positionen in relativem Bezug zu definierten Unterkieferlagen.

Vom Verfahren her unterschieden werden:

- die Kondylenpositionsanalyse unter Einsatz bildgebender tomographischer Verfahren,
- das indirekte Verfahren unter Verwendung eines stationären mechanischen und / oder elektronischen Messinstrumentes sowie montierter Modelle, sowie
- die Kondylenpositionsanalyse direkt am Patienten (in der Regel heute unter Einsatz elektronischer Messinstrumente).

Die Vermessung der Kondylenpositionen hat den Sinn, bei bezahnten Patienten die Differenzen zwischen einerseits einer vom Zahnarzt beeinflussten handgeführten Kieferrelationsbestimmung, nach dorsal-kranial / kranial / kranial-anterior limitierten und von der Zahnstellung unabhängigen Unterkieferhaltung und andererseits der kondylären Position bei maximaler Interkuspitation darzustellen. Auf diese Weise kann man den physiologischen Streubereich in den kondylären Stellungen herausarbeiten und überlegen, welche Positionen des Unterkiefers sich als Ausgangslage für zahnärztliche Rekonstruktionen eignen könnten.

#### 1.2 Entwicklung

Die Prinzipien der Kondylenpositionsanalyse wurden im Jahr 1939 zunächst von Thielemann [197] und 1957 von Posselt [156, 157] sowie nachfolgend von anderen beschrieben [47, 129, 132, 178, 187]. Die kondylären Positionen wurden in einer ersten Realisierung indirekt unter Einsatz umgebauter Artikulator ähnlicher Geräte mit mechanischen Messuhren im Gelenkbereich sichtbar gemacht. Heute können die Distanzen sowohl indirekt in Messartikulatoren als auch direkt am Patienten mit elektronischen Geräten computergestützt ermittelt werden [10, 221].

Die Kondylenpositionsanalyse wurde und wird in der Wissenschaft auch herangezogen, um die Unterschiede verschiedener Registriertechniken des Unterkiefers hinsichtlich Reproduzierbarkeit und kondylärer Positionierung zu beschreiben. Historisch betraf dies im Besonderen die dorsalen Grenzbereiche (retrale bzw. retrudierte Kontaktposition) und gilt heute immer noch für die zentrische Kondylenposition [8, 217]. Darüber hinaus wurde angestrebt, in größeren kondylären Abweichungen von der Norm die Ursache funktionsbedingter Beschwerden zu erkennen. Mit diesem

Hintergrund war es u. a. das Ziel einer Kondylenpositionsanalyse, "physiologische" (= "richtige") oder "pathologische" Unterkieferlagen zu erkennen oder wenigstens einzugrenzen.

In der klinischen Praxis kommt das Verfahren auch heute noch zur Anwendung, um die Reproduzierbarkeit von Registraten (speziell von Registraten der zentrischen Kondylenposition) nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ zu überprüfen und mit der dental determinierten Unterkieferlage zu vergleichen. Zudem dient es im Behandlungsverlauf dazu, die räumliche Veränderung der von den Patienten eingenommenen Unterkieferlage im kondylären Bereich zu ermitteln. Es ermöglicht so im Zusammenhang mit bzw. vor dem Hintergrund der Befunde aus anderen Untersuchungen (klinische Funktionsanalyse, ggf. manuelle Strukturanalyse sowie die in den anderen Teilen dieser Leitlinie behandelten Verfahren) eine Beurteilung der Situation und u. U. eine Anpassung der Therapie.

## 2. Ziele

Eine Beschreibung der Positionen der Kondylen ist im Zusammenhang mit der Bewertung der Lage des Unterkiefers zum Schädel von Bedeutung: Bei vollbezahnten Menschen legt die maximale Interkuspitation oder die habituelle Okklusion die Stellung der Kondylen in den Gelenkgruben beim Kieferschluss fest (bei dysfunktionell erkrankten Patienten u. U. in Kombination mit arthrogenen und muskulären Einflüssen).

Das Wissen über die Kondylenposition in dieser Lage und die Größe und Richtung der Abweichungen von den Grenzstellungen der Kondylen im Gelenkraum spielen zum einen bei der Beurteilung eine Rolle, ob und in welcher Größenordnung Divergenzen von einem Normbereich vorliegen. Zum anderen ist dieses Wissen notwendig, um therapeutische Unterkieferpositionen zu beurteilen und zu beschreiben. Zudem ermöglicht die Kondylenpositionsanalyse die Erfassung von Änderungen der Unterkieferlage im Laufe einer Therapie.

Die Stellungen der Kondylen in Bezug zu den Disci und zu den Fossae articulares können mit rein klinischen Methoden nicht präzise ermittelt werden. Die Ursache liegt darin, dass die Kondylen in Gewebe eingebettet, von ihnen bedeckt und der direkten Einsicht nicht zugänglich sind. Die kondylären Positionen in Relation zu den benachbarten Geweben können daher nur indirekt einerseits über bildgebende Verfahren ermittelt werden (seitliches Fernröntgenbild, transkraniale Röntgen-Schädelaufnahme, Computertomogramm, digitales Volumetomogramm, Hochfrequenz-Arthrosonografie, Magnetresonanztomografie). Andererseits wird versucht, die Lageänderung der Kondylen direkt am Patienten mit Messgeräten vergleichend zu erfassen, um daraus Rückschlüsse auf die Kondylenpositionen zu ziehen und eine Bewertung durchzuführen.



Bei indirekten Verfahren mit stationären Messinstrumenten können - nach der Erstellung von Modellen und Registraten - Lageänderungen der Artikulorkondylen alternativ in Kombination mit mechanischen oder elektronischen Messsystemen unabhängig vom Patienten untersucht werden.

Die Ergebnisse der Kondylenpositionsanalyse bestehen aus vergleichenden, relativen, metrischen Aussagen zu räumlichen Distanzen (Differenzmessung).

### 3. Methoden zur Beschreibung kondylärer Positionen und deren Beurteilung

Allen Kondylenpositionsanalysen ist gemeinsam, dass zunächst eine Referenzposition definiert werden muss, zu welcher Abweichungen untersucht oder Messungen durchgeführt werden können.

- Bei bezahnten Menschen sind übliche Vergleichspositionen die Kondylenposition in maximaler Interkuspitation (durch die Zahnhartsubstanz determiniert) sowie die zentrische Kondylenposition (als geweblicher Grenzbereich definiert) [8, 213].
- Bei unbezahnten Patienten fehlt eine natürlich gegebene statische Okklusion, jedoch lässt sich eine zentrische Kondylenposition akzeptabel wiederfinden. Für den *zahnlosen* Menschen bedeutet das, dass eine ursprünglich vorhandene maximale Interkuspitation nicht wieder aufgefunden werden kann [208].

Die zentrische Kondylenposition wurde im Laufe der Jahre immer wieder unterschiedlich interpretiert [1, 2, 3, 4, 196]. Dies beruht auf der lediglich indirekten Möglichkeit, die Kondylenpositionen darzustellen. Die Folge ist, dass bis heute die Definition grundlegender, klinisch und praktisch bedeutsamer Referenzpositionen auf theoretische Überlegungen und Beschreibungen beschränkt ist.

#### 3.1 Messung kondylärer Positionen unter Auswertung bildgebender Verfahren

Herkömmliche Röntgentechniken sind für eine *exakte* Positionsdiagnostik ungeeignet.

Magnetresonanztomogramme erlauben zwar eine dreidimensionale Beurteilung der Positionen, jedoch ist die Genauigkeit der Positionsaussage zumindest eingeschränkt, weil die Bildauflösung der Verfahren u. U. *allein* zur *exakten* Positionsbestimmung der Kondylen nicht ausreicht. Zudem muss die Unterkieferposition für eine Aufnahme zeitlich länger ruhig gehalten werden und die Untersuchung erfordert z. T. zwei getrennte Untersuchungsgänge.

Des Weiteren fehlen bislang standardisierte Vorgaben zu Referenzpunkten. Diese Einschränkungen führen zu hohen Standardabweichungen [11, 20, 53, 55, 70, 85, 92, 94, 105, 130, 131, 140, 161, 203, 204, 228].

Wenn das *alleinige* Ziel die Beurteilung *kondylärer* Positionen ist, sollte der Einsatz bildgebender Verfahren nur im Rahmen klinischer Forschungsvorhaben erfolgen.

Vor dem Hintergrund der bisherigen Datenlage sollte in der klinischen Praxis *an der Stelle* der zahnärztlichen Kondylenpositionsanalyse im direkten oder indirekten Verfahren keine Bestimmung der Kondylenposition mittels bildgebender, insbesondere ionisierender, Verfahren vorgenommen werden.

Wenn jedoch ohnehin zur Beurteilung der Situation, z. B. im Rahmen der Funktionsdiagnostik und -therapie, ein Magnetresonanztomogramm (MRT) angefertigt wird, kann im Rahmen der Untersuchung die vom Patienten zuvor eingenommene und in der Kondylenposition erfasste Kieferposition durch Schablonen oder Schienen fixiert und im MRT bildgebend dargestellt werden.  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

### **3.2 Indirekte Messung kondylärer Positionen mit Hilfe von Artikulatoren oder stationärer Kondylenpositions-Messinstrumente**

Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Messungen in handelsüblichen stationären Messsystemen liegen vor [221]. Zu der **wichtigen** Frage der Übereinstimmung zwischen Messungen am Patienten und Messungen im Artikulator bzw. stationären Kondylenpositions-Messinstrumenten gibt es jedoch zu wenig Studien [56].

*Indirekte Messung der Reproduzierbarkeit und Stabilität der **zentrischen Kondylenposition (ZKP)** im Kondylarbereich*

Die Kondylenpositionsanalyse im Artikulator mit entsprechendem Funktionsumfang oder im stationären Kondylenpositions-Messinstrument stellt ein geeignetes Verfahren dar, um bei mehrfachen Messungen eine Vorstellung über Abweichungen der zentrischen Kondylenposition zu erhalten.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Das Resultat der meisten - wenn auch nicht aller - Studien ist, dass die räumliche Reproduzierbarkeit der Registrierung im Kondylarbereich im Mittel bei etwa 0,3 mm liegt [11, 21, 26, 40, 47, 68, 69, 77, 105, 125, 127, 133, 134, 139, 162, 163, 164, 172, 174, 182, 183, 185, 187, 192, 199, 209, 212, 217, 225]. Eine wesentlich höhere Genauigkeit ist auch nicht zu erwarten, weil die zentrische Kondylenposition nicht durch Hartgewebe begrenzt ist (s. o.).

### *Indirekte Messung der Reproduzierbarkeit der maximalen Interkuspidation (MI) im Kondylarbereich*

Die maximale Interkuspidation wurde bisher nicht häufig in ihrer Wiederholbarkeit untersucht. Vorhandene Studien zeigen eine Reproduzierbarkeit in der Größenordnung von ca. 0,1 bis 0,2 mm [22, 218, 221].

Neben elektronischen Messungen indirekt im Artikulator oder direkt mit Kopf- und Unterkieferbögen am Patienten können neuerdings auch digitale, vestibuläre Intraoralscans zur Klärung dieser Frage eingesetzt werden. Grundlage dieser Verfahren sind virtuelle Modelle. Sie sind von der Methodik "an sich" sehr genau (ca. 50 µm [98]). Da derzeit intraorale Scans aber nur in einem Teilbereich des Kiefers mit einer akzeptablen Genauigkeit durchführbar sind, müssen diese zu Ganzkieferscans zusammengefügt werden. Die Genauigkeit dieses Verfahrens insgesamt ist derzeit jedoch noch unbefriedigend. Auch sollte nicht übersehen werden, dass es bei der indirekten Herstellung von Zahnersatz verschiedene verfahrenstechnische Zwischenstufen gibt und zwangsläufig die dafür geltenden Grenzen der Reproduzierbarkeit gelten, die deutlich geringer sind (räumlich ca. 0,1 bis 0,2 mm im Kondylarbereich) [22, 67, 91, 158, 176, 218, 221].

### *Indirekte Messung der Abweichungen zwischen ZKP und MI*

Die Kondylenpositionsanalyse im Artikulator stellt ein Verfahren dar, um bei mehrfachen Messungen und folgender Mittelwertbildung eine Vorstellung der in einer Stichprobe der Bevölkerung vorhandenen Abweichungen zwischen der zentrischen Kondylenposition und der statischen Okklusion zu erhalten. Die Distanzen liegen je nach Studienergebnissen im Kondylarbereich zwischen 0,2 und 0,8 mm, wobei ca. 10% der Bevölkerung keine messbare und statistisch signifikante Differenz zwischen diesen Grenzpositionen aufweisen [5, 6, 9, 11, 19, 21, 22, 23, 26, 29, 30, 31, 32, 34, 44, 46, 56, 64, 73, 74, 76, 121, 123, 127, 128, 163, 167, 168, 169, 170, 184, 195, 199, 205, 212, 219, 226, 229, 230].

### **3.3 Direkte Messung kondylärer Positionen am Patienten**

Es ist davon auszugehen, dass elektronische Messungen mit Kopf- und Unterkieferbögen direkt am Patienten zu einer etwas höheren Genauigkeit führen können als die indirekten und durch viele Zwischenschritte gekennzeichneten Messungen im Artikulator. Sie bieten auch zusätzliche Interpretationsmöglichkeiten, weil unmittelbare Effekte, die nur unter Okklusionskontakt entstehen, registrierbar sind.

Die Position des Kopfbogens kann jedoch durch Lageveränderungen des Messinstrumentes, Kopfbewegungen oder den Muskelzug unbeabsichtigt verändert werden. Somit kann auch bei diesem Verfahren die erwartete Reproduzierbarkeit verringert werden [15, 19, 21, 127, 192, 193, 199, 212, 213, 214, 221]. Darüber hinaus sollte nicht vergessen werden, dass zur Beurteilung okklusaler Relationen und / oder zur Herstellung von Okklusionsschienen bis heute i. d. R. der Weg

über den Artikulator erforderlich ist. Für das Verfahren der direkten Messung kondylärer Positionen am Patienten hat dies zur Folge, dass zur dimensionsgetreuen Übertragung gemessener Verlagerungen (zum Beispiel in zentrischer Kieferrelation) in den Artikulator dennoch Modelle und Registrate erforderlich sind - wie dies beim indirekten Verfahren mit einem stationären Messinstrument auch der Fall ist.

#### 4. Nutzen

Die Kondylenpositionsanalyse bietet bei Personen, die eine in vier Quadranten abgestützte Bezaehlung aufweisen, folgende Möglichkeiten:

1. Quantitative und qualitative Darstellung der Abweichungen der individuellen kondylären Referenzpositionen relativ zueinander, i. d. R. zentrische Kondylenposition und die Kondylenposition in maximaler Interkuspitation,
2. Beurteilung der Reproduzierbarkeit der maximalen Interkuspitation bei mehrfachen Messungen,
3. Beurteilung der Reproduzierbarkeit einer ermittelten zentrischen Kondylenposition bei mehrfachen Messungen,
4. Erkennung von Verlagerungsrichtungen und Ausmaß der Referenzpositionen relativ zueinander,
5. Beurteilung der Reproduzierbarkeit bei der Ermittlung kondylärer Positionen unter Einsatz verschiedener Registrierverfahren/ -materialien,
6. Kontrolle der kondylären Positionen im Therapieverlauf.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Zudem spielt die Kondylenpositionsanalyse eine wichtige Rolle in der Forschung. Mit ihrer Hilfe lassen sich bei der Untersuchung genügend großer Probandengruppen "Verteilungen" kondylärer Positionen erfassen und damit u. U. klinische Behandlungskonzepte ableiten und / oder untermauern.

Die vorliegenden Studien zeigen, dass das Verfahren der Kondylenpositionsanalyse grundsätzlich die erforderlichen Voraussetzungen zur Validität und Reliabilität erfüllt. Die Aussagekraft der Kondylenpositionsanalyse ist jedoch abhängig von der Validität und Reproduzierbarkeit, mit der die kondylären *Stellungen* jeweils festgelegt werden können. Registrate und Messungen sollten zudem mehrfach erfolgen.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Die okkludierenden Zahnreihen bestimmen mechanisch die Position der Kondylen [26], die **maximale Interkuspitation** lässt sich daher sowohl am Patienten [98] als auch an Modellen im Artikulator genauer einstellen als die zentrische Kondylenposition [217, 218].

Die Genauigkeit bei der Festlegung der **zentrischen Kondylenposition** als einer der Referenzpositionen in einem Gelenk mit "Freiheitsgraden" wird geringer sein. Sie beträgt bei direkt am Patienten durchgeführten Verfahren im besten Fall etwa 0,2 mm, im Artikulator ca. 0,3 mm [192, 193, 202]. Da alle Verfahren diese Fehlergrößen beinhalten, sind Analyse-Resultate unter ca. 0,5 mm auch bei sehr präzisiertem Vorgehen in ihrer Aussagekraft nur eingeschränkt zu interpretieren.

Generell ist im Einzelnen ohne geeignete bildgebende Verifizierung nicht eindeutig bestimmbar, auf welche konkreten anatomischen Kondylen nahe Strukturen sich der in der Kondylenpositionsanalyse verwendete rechte und linke posteriore Referenzpunkt bezieht. Ohne dieses genaue Kenntnis sind Aussagen zu vermeintlichen "Verlagerungen der Kondylen" oder "Kompressionsphänomenen im Gelenkbereich" - hier beispielhaft aufgeführt - spekulativ und allenfalls als Verdacht zu formulieren.

Die Beurteilung des Befundes aus einer Kondylenpositionsanalyse setzt zudem die Kenntnis der speziellen Anamnese, der klinischen Befunde sowie der kondylären Bewegungsaufzeichnung voraus. Die Kondylenpositionsanalyse *allein* kann lediglich Hinweise zur Interpretation der klinischen Situation geben. *Allein* aus einer Differenzmessung der Kondylenpositionen lässt sich eine invasive restaurative Zahnbehandlung oder kieferorthopädische bzw. kieferchirurgische Therapie nicht begründen.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

## Teil 3: Kieferrelationsbestimmung: Horizontale Kieferrelationsbestimmung mittels Stützstift- Registrierung

Die Problematik der Kieferrelationsbestimmung wurde bereits in einer früheren, inhaltlich auch derzeit noch zutreffenden, "Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien e.V. (vormals DGZPW): Kieferrelationsbestimmung" ausführlich erläutert und diskutiert [219]. Im Zusammenhang mit dem Inhalt dieser Leitlinie wird daher lediglich der Bereich der "Stützstift-Registrierung" detailliert erneut aufgegriffen, weil der Stellenwert elektronischer Geräte in diesem Zusammenhang die Kolleginnen und Kollegen zunehmend verunsichert.

### 1. Definition und Entwicklung

#### 1.1 Definition

Die zentrale Stützstift-Registrierung stellt ein Verfahren der Zuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer mit dem Ziel dar, über die intraorale Aufzeichnung einer Pfeilwinkelspitze eine horizontale Kieferrelation zu bestimmen (alternative Bezeichnungen: Pfeilwinkel-Registrierung, Aufzeichnung des Gotischen Bogens, grafisches Verfahren, McGrane-Registrierung [138]). Als Hilfsmittel werden sog. "Stützstiftplatten" im Ober- und Unterkiefer im zahntechnischen Labor hergestellt, die auf Höhe der Okklusionsebene und zwischen den Zahnreihen verlaufen und bei Bezahnten mit Kunststoff an den Zahnreihen adaptiert werden. Sie umfassen - i. d. R. im Oberkiefer - einen vertikal befestigten "zentralen Stützstift", der die Okklusionsebene geringfügig überragt und etwa in Höhe zwischen den zweiten Prämolaren und den ersten Molaren sowie über der Mittellinie des Gaumens angebracht wird ("im Zentrum der Belastung"). Im Unterkiefer wird in Höhe der Okklusionsebene und transversal zwischen den Zahnreihen - unter Verdrängung der Zunge - eine Metallplatte entsprechend in Unterschnitten der Dentition befestigt. Nach dem Einfügen dieser Hilfsmittel in den Mund kann der höhenverstellbare zentrale Stützstift so eingestellt werden, dass bei Kieferschluss und in zentrischer Kondylenposition lediglich ein "interokklusaler" Kontakt zwischen dem Stift und der Platte entsteht, die Okklusalflächen der Zahnreihen selbst jedoch - möglichst minimal - diskludiert sind [50, 52]. Bei Kieferschluss besteht intraoral zum Gegenkiefer nur noch ein Kontakt über den Stützstift.

Trägt man eine Farbschicht auf der Schreibplatte auf, können bei entsprechender Kiefer-Sperrung durch die Schraube die horizontalen Grenzbewegungen der Mandibula ohne weitere interokklusale Kontakte abgefahren werden. Durch wiederholte Lateralbewegungen nach rechts und links wird auf der Unterkieferplatte ein "Pfeilwinkel" sichtbar. An der Stelle, wo sich die beiden Lateralbewegungen in der Medianebene treffen, entsteht eine "Pfeilwinkelspitze" ("most retruded position of *function*" [138]). Diese Position des Stützstiftes auf der Platte ist eine gut reproduzierbare dorsale Grenzposition des Unterkiefers. Sie wird bei dieser Methode als "zentrische Kondylenposition" definiert.

Werden nicht nur die seitlichen posterioren, sondern auch die anterioren und protrusiv-lateralen Grenzbewegungen unter Kontakt der Stützstiftplatten abgefahren, stellt sich auf der Schreibplatte eine Raute dar. Sie ist gleichbedeutend mit einem individuellen horizontalen Querschnitt des Posselt-Keils. Eine solche vollständige Aufzeichnung der lateralen und protrusiven Bewegungen erfordert bei bezahnten Patienten - bedingt durch die Interkuspitation - allerdings i. d. R. eine erhebliche Sperrung der Vertikaldimension und ist nur von didaktischem Interesse.

Prinzipiell können mit einer Pfeilwinkelregistrierung keine Aussagen zur dreidimensionalen Lage der Kondylen gemacht werden, weil die Aufzeichnung lediglich zwei Freiheitsgrade der Unterkieferbewegungen erfasst.

## 1.2 Entwicklung

Die Stützstift-Registrierung wurde zunächst von Gysi als extraorale Registriermethode für die Herstellung von Totalprothesen beschrieben [57, 58, 59, 60, 61]. Gysi setzte das Verfahren ein, um die horizontale Kieferrelation bei unbezahnten Patienten mit Totalprothesen wieder herzustellen. Er war offenbar der Auffassung, dass die Spitze des Pfeilwinkels der ehemaligen maximalen Interkuspitation der Patienten entsprechen würde [150]. Erst im Laufe der Zeit setzte sich die Erkenntnis durch, dass sowohl die maximale Interkuspitation als auch der Adduktionspunkt mit jeweils unterschiedlichen Entfernungen von der Spitze des Pfeilwinkels abweichen [35, 62, 76, 78, 103, 155, 188, 208, 232].

Es ist das Verdienst von Phillips [152], das Verfahren als intraorale Technik bei Totalprothesen beschrieben und angewendet zu haben, so wie es im Wesentlichen heute noch eingesetzt wird. Gerber hielt die Methode besonders für die Herstellung von Totalprothesen [51], aber auch für die Behandlung von Patienten mit craniomandibulären Dysfunktionen für geeignet [50]. Das Ziel der Stützstift-Registrierung war von Anfang an, Zahnersatz (früher: Totalprothesen; heute auch: Okklusionsschienen) bei umfangreich zu rekonstruierenden Patienten in einer "physiologischen" und "gut adaptierbaren" Unterkieferlage einzugliedern. So hielt z. B. Gerber die Führung des Unterkiefers über eine handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung [63, 180] für "unphysiologisch". Er war der Auffassung, dass das Kiefergelenk - wie andere Gelenke auch - gewisse Freiheitsgrade benötigt und sogenannte Checkbiss-Verfahren den Unterkiefer - durch die Art der manuellen Führung bedingt - in einer retralen, dorsal forcierten Haltung "zwangsfixieren". Er befand sich mit dieser Ansicht im Gegensatz zu den "Gnathologen", die eine Platzierung des Unterkiefers mittels Checkbiss-Verfahren und straffer Führung für den angesagten Zweck für "richtiger" hielten [122]. Diese Diskussionen und die Entwicklung spiegeln sich in den verschiedenen Definitionen der kondylären Stellung bei "zentrischer Kondylenposition" wider, die sich im Laufe der Zeit von einer "hintersten" in eine "oberste und anteriore" Position der Kondylen in ihren Fossae veränderte [1, 2, 3, 4, 138, 196]. Es bestand die allgemeine Überlegung, dass "Gelenke nicht in Grenzstellungen funktionieren". Von der Stützstift-Registrierung nahm man dabei an, dass sie den Unterkiefer in eine weniger ausgeprägte dorsale Grenzstellung bringen würde [1, 150].

Bis heute fehlen valide klinische Studien oder Nachuntersuchungen, die die dargelegten Annahmen überprüfen konnten.

## 2. Ziele

Im Rahmen der Zuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer ist das primäre Ziel einer Stützstift-Registrierung, einen physiologischen Ausgangspunkt z. B. für eine Okklusionsanalyse von Modellen im Artikulator oder für die Herstellung von Okklusionsschienen bzw. Zahnersatz zu bestimmen. Wenn nicht spezielle, abweichend konstruierte Aufzeichnungsplatten eingesetzt werden [177], ist es selbst bei vollbezahnten Probanden nicht möglich, die maximale Interkuspitation mit diesem Verfahren zu registrieren. Dies, weil die Stützstiftplatten nicht paraokklusal befestigt sind und eine Einstellung der maximalen Interkuspitation der natürlichen Zähne gar nicht zulassen. Die Aufzeichnung eines Adduktionsfeldes jedenfalls - von dem man früher annahm, dass diese neuromuskuläre Registrierung die maximale Interkuspitation repräsentieren würde - ist dazu nicht geeignet: Die Aufzeichnungen des Adduktionsfeldes resultieren bei Bezahnten in einem sehr individuellen, ganz unregelmäßig geformten und größeren Feld und nicht in einem exakten Punkt [41, 65, 104, 109, 136, 181, 189, 232]. Zur Aufzeichnung ist i. d. R. eine Erhöhung der vertikalen Relation über die Ruhelage hinaus erforderlich [209, 232]. Die Größe und Form eines Adduktionsfeldes, welches mit Stützstiftplatten aufgezeichnet wird, hängt u. a. mit einer Verdrängung der Zunge und dem daraus resultierenden Einfluss auf die Schließbewegungen zusammen: Unter diesen Voraussetzungen erscheint es von vorneherein gar nicht möglich, eine entspannte neuromuskuläre Position festzulegen.

Bei Patienten mit Totalprothesen kann über die Aufzeichnung eines Adduktionsfeldes mit Stützstiftplatten ebenfalls keine maximale Interkuspitation festgelegt werden, weil zum einen die natürlichen Zähne fehlen und sich zum anderen im Laufe der Zeit andere Reflexmuster für die Einstellung der Unterkieferhaltung etabliert haben [206, 207, 208].

Übrig bleibt bei bezahnten und unbezahnten Patienten daher lediglich die Festlegung einer Unterkieferhaltung exakt auf oder in einer definierten Relation zur aufgezeichneten Spitze des Symphysenbahnwinkels. Somit ist allenfalls eine "mittelwertige" maximale Interkuspitation bei dieser Patientengruppe einzustellen, wenn man die Unterkieferlage z. B. "0,5 mm hinter der Pfeilwinkelspitze" festlegt. Dies ist jedoch - wie weiter unten dargestellt - nicht zielführend und auch nicht notwendig.

Über die Ermittlung der horizontalen Kieferrelation hinaus können mit einer Stützstift-Registrierung recht genau auch protrusive Unterkieferhaltungen bestimmt werden, um z. B. die sagittalen Gelenkbahnneigungen in einem Artikulator zu individualisieren [13, 14]. Wegen des Aufwands handelt es sich dabei jedoch eher um eine theoretisch-wissenschaftliche Methodik.

Mit einem ganz anderen Ziel entwickelten Swanson und Wipf das intraorale Stützstift-Verfahren als "stereografisches Verfahren" weiter und setzten - unter Bewegungen und unter Stützstiftführung - im Patientenmund in Kunststoff dreidimensional eingravierte Bewegungsbahnen dafür ein, im Artikulator sphärisch ausgeformte kondyläre Führungen zu formen [24, 194]. Den Autoren ging es daher primär nicht um die Registrierung der zentrischen Kondylenposition, sondern um die



Programmierung des von ihnen entwickelten voll individuellen "TMJ-Artikulators". Das Ziel war, die Unterkiefer-Bewegungen der Patienten dreidimensional in den Artikulator zu übertragen und in der Folge Zahnersatz am Patienten ohne größere Einschleifmaßnahmen einzufügen.

Neben der prinzipiellen Einschränkung, dass als Voraussetzung zur Registrierung physiologische Verhältnisse im Kausystem vorliegen müssen, hat sich das in der Theorie gut konzipierte Verfahren wegen des Aufwandes und der Fehleranfälligkeit nicht durchsetzen können.

Zusammenfassend ist daher i. d. R. das primäre Ziel einer Stützstift-Registrierung, die horizontale Kieferrelation für therapeutische Maßnahmen zu bestimmen.

### **Fragen zur Stützstift-Registrierung**

1. Welchen Einfluss hat die Position des Stützstiftes in sagittaler oder transversaler Richtung auf das Ergebnis der Registrierung?
2. Welchen Einfluss hat die während der Aufzeichnung oder der Verschlüsselung ausgeübte Kraft auf das Ergebnis der Registrierung?
3. Was unterscheidet das klassische Verfahren in der Reproduzierbarkeit und der Positionierung der Kondylen von den neuen computergestützten Methoden?
4. Worin unterscheiden sich im Ergebnis die handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung (sogenannte Checkbiss Verfahren) und die Stützstift-Registrierung (Position der Kondylen, Aktivität der Kaumuskulatur)?
5. In welchen Fällen sollte die Stützstift-Registrierung eingesetzt werden?
6. Welches praktische Vorgehen hat sich bewährt?

### **Problemstellung**

Die Beurteilung, ob die nach einer Stützstift-Registrierung resultierende kondyläre Position "richtiger" oder "angemessener" ist als solche, die mit anderen Verfahren erzielt werden, unterliegt exakt der gleichen Problematik, wie sie in Teil 2 dieser Leitlinie diskutiert wurde und wird hier daher nicht wiederholt (Abschnitt "Kondylenpositionsanalyse").

## **3. Einflüsse der Aufzeichnungsbedingungen, Reproduzierbarkeit, Unterschiede zwischen Verfahren, Diagnostik, praktische Hinweise**

### **3.1 Einflussfaktoren auf die Stützstift-Registrierung**

Folgende Faktoren haben Einfluss auf die Stützstift-Registrierung und können deren Ergebnis - also die kondyläre Position und damit die Unterkieferlage - verändern [65, 66, 93, 95, 96, 100, 101, 107, 120, 125, 126, 127, 133, 145, 147, 148, 149, 159, 171, 223, 227, 231]:

- Ausgeübte Kraft bei Aufzeichnung oder Verschlüsselung,
- Abbindezeit des Verschlüsselungswerkstoffs,

- Neigung der Aufzeichnungsplatten zur Okklusionsebene,
- Einengung des Zungenraumes,
- Stützstiftposition auf der Aufzeichnungsplatte und
- Führung des Unterkiefers

Die Position des Stützstifts auf der Aufzeichnungsplatte übt einen hohen Einfluss auf die Qualität der Registrierung im Besonderen bei unbezahnten Patienten aus.

Ziel der Stützstift-Registrierung ist es, obere und untere Registrierschablonen oder Prothesen in zentrischer Kondylenposition so gleichmäßig zu belasten, dass der Zahnersatz sich nach leichtem Kieferschluss und bei dann zunehmender Schließkraft im Ober- wie im Unterkiefer möglichst wenig bewegt: Die Tegumente sollen gleichmäßig belastet werden und beide Prothesen nicht dislozieren. [10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Sollten solche Dislokationen der Prothesen bei der horizontalen Kieferrelationsbestimmung auftreten, dann ist die Folge, dass die fertiggestellten Prothesen bei jedem Kieferschluss diese Dislokationen auch aufweisen. Kontraindikationen des Einsatzes der Stützstifttechnik stellen folgerichtig Situationen dar, bei denen z. B. die Prothesenschwerpunkte im Ober- und Unterkiefer in sagittaler Richtung stark unterschiedlich positioniert, ausgeprägte Resilienzunterschiede (Schlotterkämme) vorhanden sind oder Kieferdefekte vorliegen. Hier soll auf die handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung zurückgegriffen werden [219]. [10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Die Aufzeichnung des Pfeilwinkels lässt sich heute auch computergestützt durchführen [222]. Dabei kann auch die Schließkraft während der Aufzeichnung gemessen werden.

Die Möglichkeit, den Pfeilwinkel während der Entstehung der Aufzeichnung auf einem Monitor vergrößert darzustellen und damit für den Patienten zu visualisieren (Feedback), stellt ebenso einen Vorteil dar, die aufgewendete Kieferschließkraft während der Registrierung oder u. U. sogar während der Verschlüsselung zu messen und zu kontrollieren. Die für die Aufzeichnung notwendige Kieferschließkraft liegt bei einigen elektronischen Verfahren bisher zwischen 10 N und 30 N. Beim herkömmlichen Verfahren - ohne elektronische Kontrolle - sind die Schließkräfte während der Aufzeichnung geringer und betragen meist unter 10 N [96]; Kräfte über 5 N sollen negative Einflüsse ausüben [100, 101, 126, 227].

Es liegen keine Studien zu der Frage vor, welche Höhe die Kieferschließkraft während der Aufzeichnung bzw. während der Verschlüsselung haben sollte bzw. haben darf. Ebenso ist die für die Übertragung in den Artikulator bei einigen Systemen berechnete und von der Pfeilwinkelspitze sowie auch von der maximalen Interkuspitation abweichende Platzierung des Unterkiefers wissenschaftlich bisher nicht belegt. [33, 99, 125, 127, 232]. Inwieweit die Höhe der aufgewendeten Kieferschließkraft oder die abweichende Positionierung des Unterkiefers - weg von der Pfeilwinkelspitze - mit der

späteren Akzeptanz der Patienten mit den Prothesen in Beziehung steht, ist nicht belegt.

### 3.2 Reproduzierbarkeit

Die Reproduzierbarkeit der Stützstift-Registrierung wurde in vielen Studien sowohl bei Bezahnten als auch bei Totalprothesenträgern einerseits zweidimensional auf Höhe der Okklusionsebene [25, 28, 54, 65, 66, 75, 79, 93, 102, 106, 137, 145, 188, 232], andererseits mit zusätzlichen Hilfsmitteln direkt oder indirekt dreidimensional im Kondylarbereich gemessen [11, 90, 110, 125, 133, 134, 173, 190, 191, 206, 207, 209, 211, 216, 217]. Die Reproduzierbarkeit zwischen den klassischen und den computergestützten Systemen unterscheidet sich nicht [99, 232], denn beide Verfahren beruhen auf der gleichen Grundlage. Nur bei *Totalprothesenträgern* ist die Reproduzierbarkeit der Stützstift-Registrierung gegenüber der handgeführten horizontalen Kieferrelationsbestimmung besser (im Mittel 0,5 mm gegenüber 0,7 mm im Kondylarbereich, [211, 216, 220]). Bei *bezahnten* Patienten attestieren neuere Studien dem Stützstiftverfahren eine Genauigkeit von im Mittel ca. 0,3 mm [209, 217]. In diesen Werten ist die Präzision der Platzierung des Plexiglasrondells auf der Schreibplatte integriert. Das entspricht exakt der Reproduzierbarkeit, die auch die handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung bei den entsprechenden Indikationen aufweist.

In der Reproduzierbarkeit bestehen daher zwischen den grundlegend verschiedenen Methoden der handgeführten horizontalen Kieferrelationsbestimmung und der Pfeilwinkel-Registrierung keine Unterschiede.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

### 3.3 Stützstift-Registrierung und zentrische Kondylenposition

Nachdem Studien zeigten, dass die Kondylenposition in maximaler Interkuspitation und die zentrische Kondylenposition bei der Stützstift-Registrierung nicht zwangsläufig übereinstimmen (s. o.), ging man lange davon aus, dass die handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung ("Checkbiss-Registrierung") und zentrale Stützstift-Registrierung in einer ganz ähnlichen - wenn nicht sogar der "gleichen" - Unterkieferlage resultieren würden (= "gleiche" Kondylenposition). Dies ist heute widerlegt: Handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung und die Verschlüsselung auf der Pfeilwinkelspitze haben unterschiedliche Unterkieferlagen zur Folge [11, 25, 83, 106, 110, 125, 127, 179, 210, 216, 231]. Derzeit noch nicht publizierte Ergebnisse an 75 bezahnten Probanden, bei denen je drei Registrierungen jeweils ganz unterschiedlicher Art durchgeführt wurden [217], zeigen, dass die Stützstift-Registrierung die Kondylen gegenüber der handgeführten horizontalen Kieferrelationsbestimmung im Mittel in eine um ca. 0,5 mm nach anterior und kranial veränderte Position führt, wenn exakt auf der Pfeilwinkelspitze verschlüsselt wird. Hierbei ist hervorzuheben, dass der Unterkiefer während der Aufzeichnung des Pfeilwinkels moderat geführt wurde [Utz et al., noch unveröffentlicht].

### 3.4 Diagnostische Möglichkeiten

Es besteht die Annahme, dass mit einer Pfeilwinkelaufzeichnung diagnostische Erkenntnisse bzgl. der kondylären Bewegung gewonnen werden können. Dies ist jedoch nur sehr eingeschränkt der Fall.  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Ein Pfeilwinkel entsteht bei Bezahnten unter Anhebung der Vertikaldimension durch Lateralbewegungen nach rechts und links auf einer horizontalen Ebene. Dabei ist die Bewegungsweite beurteilbar. Eine Interpretation wird aber oft dadurch eingeschränkt, dass der Patient die auszuführenden Bewegungen nicht geübt hat und z. B. eine Verkürzung des Bewegungsumfanges nicht auf einer Funktionsstörung beruht, sondern auf mangelnde Umsetzung zurückzuführen ist.

Wenn bei vollbezahnten Patienten keine tatsächliche Pfeilwinkelspitze, sondern eine abgerundete Aufzeichnung entsteht, sollte dies nur dann als eine "immediate side shift" Bewegung im Kiefergelenkbereich interpretiert werden, wenn die Bewegungen tatsächlich von einem dorsalen Startpunkt aus erfolgten.  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Bei unbezahnten Patienten kann eine horizontale Beweglichkeit der Registrierschablonen oder Prothesen ein Grund für einen abgerundeten Pfeilwinkel sein.

### 3.5 Praktische Hinweise zur Fehlervermeidung

Der Stützstift soll so platziert werden, dass er sowohl Ober- als auch Unterkiefer zentral belastet. Dabei sollten Stützstift- und Aufzeichnungsplatte in der zentrischen Kondylenposition entweder ganz "parodontal unterstützt" oder vollständig Schleimhaut getragen sein, um eine Dislokation der Stützstiftplatten während der Verschlüsselung - verbunden mit einem nicht eindeutigen Sitz der Stützstiftplatten und nicht fixierter Position des Unterkiefers - zu vermeiden.  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Wegen des Aufwands der Herstellung der Stützstiftplatten ist dies bei Patienten einfacher umzusetzen, die entweder vollbezahnt, mit einer komplett abnehmbaren Restauration versorgt oder ganz unbezahnt sind. Die Aufzeichnung ist somit je nach Verteilung der restlichen Zähne bei teilbezahnten Patienten schwieriger oder u. U. nicht sinnvoll.

Bei Unbezahnten soll der Stützstift so angebracht werden, dass die Registrierschablonen oder Prothesen "im Zentrum" gleichmäßig belastet werden und sich bei Kieferschluss nicht auf dem Tegument verschieben (bei Belastung also weitgehend "senkrecht in das Tegument einsinken").  
[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Ziel ist, dass das Tegument unter den Prothesen sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer in zentrischer Kondylenposition völlig gleichmäßig belastet wird. In dieser Situation ist der Unterkiefer durch die beiden Kondylen und den Stützstift abgestützt, die "Dreibein-Abstützung" gegenüber der Schädelbasis ist erreicht (rechter sowie linker Kondylus und Stützstift) [52]. Es ist wichtig, den zentralen Stützstift in der Höhe so einzustellen, dass in zentrischer Kondylenposition eine nur

minimale Erhöhung der Vertikaldimension zwischen den Zähnen rechts und links erreicht wird, was mit einer Okklusionsfolie kontrolliert werden muss (kein antagonistischer Kontakt).

Da die Aufzeichnung aller Grenzbewegungen - vor allem bei bezahnten Patienten - in der Regel mit einer zu großen Erhöhung der Vertikaldimension verbunden wäre, soll keinesfalls eine kompletter Pfeilwinkel aufgezeichnet werden.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Den Pfeilwinkel zeichnet man durch klare Anweisungen an den Patienten auf, bei gleichzeitig leichter Führung des Unterkiefers nach dorsal (eine straffe Führung hat eine reaktive und protrusiv gerichtete muskuläre Reaktion des Patienten zur Folge), beispielsweise:

**"Unterkiefer vor → Unterkiefer zurück → Unterkiefer nach links → wieder zurück,  
Unterkiefer vor → Unterkiefer zurück → Unterkiefer nach rechts → wieder zurück."**

Dies soll mehrfach hintereinander ausgeführt werden, bis der Patient ein Gefühl für die erforderlichen Bewegungen bekommt.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Ein Teil der Patienten kann die erforderlichen Bewegungen mit diesen Anweisungen zunächst nicht ausführen, eine Pfeilwinkel-Registrierung erscheint "nicht realisierbar". Hier gibt es zwei Möglichkeiten, dennoch eine "Aufzeichnung" zu erhalten:

1. Unter der Führung der Zahnärztin / des Zahnarztes lautet die Anweisung an den Patienten beispielsweise:  
**"Bitte schließen Sie den Kiefer. Bewegen Sie den Unterkiefer jetzt "hinten" mehrfach nach links und rechts".**  
Eine Kombination mit obigen Anleitungen kann sinnvoll sein.
2. Ist dies erfolglos, kann der Unterkiefer bei eingesetzten Stützstiftplatten mit der handgeführten horizontalen Kieferrelationsbestimmung positioniert werden.

Das Registratmaterial soll so appliziert sein, dass bei der Modellmontage eine sichere Fixierung der Modelle gewährleistet ist.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

#### 4. Zusammenfassung

Die Stützstift-Registrierung ist ein valides Verfahren, um die Unterkieferposition einzustellen. Die Reproduzierbarkeit ist bei bezahnten Patienten dem weiter verbreiteten Checkbiss-Verfahren vergleichbar [217]. Ein normal belastbares Tegument vorausgesetzt, ist die Stützstift-Registrierung besonders für die Restauration zahnloser Patienten geeignet, weil bei unbezahnten Patienten die Registrierschablonen oder Totalprothesen während der Pfeilwinkelzeichnung und der Verschlüsselung auf das Tegument gedrückt werden und bei richtiger Indikation nicht dislozieren. Bei

unbezahnten Patienten ist sie besser reproduzierbar als eine handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung [216].

Die Stützstift-Registrierung ist kontraindiziert, wenn die Registrierschablonen oder Prothesen beim Kieferschluss dislozieren, wie es bei ausgeprägten "Schlotterkämmen", stark voneinander abweichenden Prothesenschwerpunkten in Ober- und Unterkiefer oder Kieferdefekten, z. B. nach Tumoroperationen, der Fall ist. Bei Patienten, die auf Grund der Bewusstseinslage nicht mitarbeiten können, ist diese Form der horizontalen Kieferrelationsbestimmung ebenfalls nicht möglich.

Bei teilbezahnten Patienten hängt die Indikation von einer geeigneten Verteilung der Zähne und der damit verbundenen Abstützung der Stützstiftplatten ab.

Im Unterschied zur Durchführung der handgeführten horizontalen Kieferrelationsbestimmung werden die Kondylen bei der Stützstift-Registrierung im Mittel geringfügig weiter anterior und superior platziert [138] (dies entspricht auch eigenen bisher unveröffentlichten Studienergebnissen). Daraus resultiert die klinische Beobachtung, dass der Unterkiefer bei "exakt auf der Pfeilwinkelspitze eingestellten" Restaurationen manuell i. d. R. geringfügig weiter nach dorsal geführt werden kann. Handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung und Stützstift-Registrierung resultieren in geringfügig unterschiedlichen Unterkieferlagen.

Zu der Fragestellung, ob eine handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung (Checkbiss-Registrierung) oder eine Stützstift-Registrierung für Patienten geeigneter ist, liegt lediglich eine Studie vor. Die Untersuchung bezieht sich auf Patienten mit Totalprothesen und attestiert eine nicht signifikant höhere Akzeptanz mit Prothesen, die nach Pfeilwinkelregistrierung sekundär remontiert und eingeschliffen wurden [215, 216]. Die praktischen Erfahrungen mit beiden Verfahren der horizontalen Kieferrelationsbestimmung sprechen jedoch dafür, dass beide Unterkieferlagen von entsprechend versorgten Patienten adaptiert werden können. Da bei der Stützstift-Registrierung auch bei Fixierung der Unterkieferposition exakt auf der Pfeilwinkelspitze System immanent eine geringfügig anteriore kondyläre Position eingestellt wird (es besteht ein geringer Weg nach dorsal), muss von einer Verschlüsselung auf der Spitze des Pfeilwinkels nicht abgewichen werden.

Elektronische Stützstift-Registrier-Verfahren sind lediglich computergestützte Varianten, die die Vor- und Nachteile der Stützstift-Methode nicht grundsätzlich verändern. Eine kondyläre Diagnostik ist mit diesen Verfahren durch das Prinzip bedingt nur mit erheblichen Einschränkungen möglich und ist derzeit nicht belegt. Sie erleichtern den Patienten aber möglicherweise das Verständnis der Methode und bieten eine gute Dokumentationsmöglichkeit.

## Teil 4: Oberflächen-Elektromyographie der Kaumuskelatur in der zahnärztlichen Anwendung

### 1. Definition und Entwicklung

#### 1.1 Definition

Die Methode zur Ableitung bioelektrischer Signale der Muskulatur wird als Elektromyographie (EMG) bezeichnet. Die Aufnahme der Signale kann mittels auf der Haut angebrachter Oberflächenelektroden oder unter Verwendung von Nadel- oder Drahtelektroden, die direkt in den Muskel eingestochen werden, durchgeführt werden. Die Ableitung der Signale erfolgt für gewöhnlich in uni- oder bipolarer Form [175].

Der Muskel besteht aus motorischen Einheiten (MU) mit zahlreichen Einzelfasern, die zeitgleich aktiviert werden, aber nicht den gleichen Abstand zur Ableitstelle haben. Die Signale einer motorischen Einheit werden somit mit geringen Laufzeitunterschieden registriert und interferieren zum Aktionspotenzial der MU. Die elektrische Aktivität des Bereichs der Muskulatur, der näher an den Ableitelektroden liegt, liefert zudem den größten Beitrag zur registrierten Potenzialdifferenz. Jede Muskelkontraktion ist durch die Aktivierung vieler motorischer Einheiten gekennzeichnet, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten und mit verschiedenen Frequenzen erregt werden können. Ferner lassen die motorischen Einheiten eine komplexe räumliche Verteilung im Gesamtmuskel erkennen, die in der Kaumuskelatur auf sehr kleine Areale reduziert ist. Damit verläuft die Erregungsausbreitung in den einzelnen Muskelregionen nicht synchron und erzeugt in der elektrischen Ableitung sog. Interferenzmuster. Die dabei entwickelte elektrische Aktivität ist direkt proportional zur Zahl der aktivierten Fasern. Das summarische Elektromyogramm gestattet somit die Beurteilung der Innervation von motorischen Einheiten und Muskelgruppen, da die Stärke der Muskelkontraktion von der Zahl der innervierten Muskelfasern und der Anzahl der Aktionspotenziale pro Zeiteinheit abhängt. Die aufgezeichneten Aktionspotenziale spiegeln die neuromuskuläre Erregung der untersuchten Muskulatur wider und sind ein indirektes Maß für die mechanische Aktivität des Muskels [82].

Grundsätzlich liefert die Elektromyographie Informationen über den peripheren Erregungszustand von Muskeln. Sie registriert auch zeitabhängige intra- oder intermuskuläre Aktivierungsmuster und gibt somit Hinweis auf die zugrunde liegenden zentralen Kontrollmechanismen [43].

Das mit Hilfe *bipolarer Oberflächenelektroden* gemessene Elektromyogramm ist die am häufigsten angewandte Technik der Elektromyographie, da sie schnell und atraumatisch angewendet werden kann und zuverlässige und weitgehend reproduzierbare Ergebnisse liefert. Bei Ableitungen der Kaumuskelatur für die zahnärztliche Funktionsanalyse ist diese nicht-invasive Technik Mittel der

Wahl, da die aus klinischer Sicht wichtigsten Muskeln M. masseter und M. temporalis relativ oberflächlich liegen.

## 1.2 Historische Entwicklung

Der Grundstein der Elektromyographie wurde im Jahr 1791 von Galvani gelegt [45]. Er entdeckte an Nerv-Muskel Präparaten, dass sich isolierte Skelettmuskeln durch elektrische Stimulation zur Kontraktion bringen lassen. Erste Berichte über Ableitungen, das Verstärken und Aufzeichnen von Muskelaktionspotenzialen am Menschen werden Du Bois-Reymond (1848) zugeschrieben [36]. Die ersten systematisch einsetzbaren Oberflächenelektroden wurden von Piper (1912) entwickelt [154]. Die erste erfolgreiche Anwendung der Elektromyographie im Kopfbereich wurde von Moyers (1950) beschrieben [144]. Eschler (1952) und andere erkannten schon bald darauf die Bedeutung der Elektromyographie für die Zahnheilkunde [39].

Bis heute wird die Elektromyographie vielfältig in der experimentellen und klinischen Grundlagenforschung eingesetzt. Deutliche Unterschiede in den elektromyographischen Aufzeichnungen zwischen untersuchten Probanden sind dabei oft festzustellen [108]. Diese Unterschiede können auf physiologische, anatomische und technische Gründe zurückgeführt werden [141]. Menschen wenden verschiedene Strategien an, um identische motorische Aufgaben zu lösen, was sich zwangsläufig in unterschiedlichen EMG-Mustern manifestieren kann. Die Elektromyographie liefert als einziges Instrument über die Erfassung von Summationspotenzialen metrische Daten über die Funktion der Aktivität einzelner Muskeln [151].

## 2. Ziele

Im Rahmen der zahnärztlichen Tätigkeit ist die Anwendung der Oberflächen-EMG mit bipolaren Hautelektroden im Bereich des M. masseter und des M. temporalis anterior relativ unproblematisch durchführbar. Auf der Basis einer fundierten klinischen Funktionsdiagnostik unter Beachtung spezieller methodischer Empfehlungen [71, 72, 111] ermöglicht die Oberflächen-Elektromyographie (EMG) die zusätzliche Ermittlung valider und reliabler quantitativer Daten zum Funktionszustand einzelner Kaumuskeln im Sinne einer "neuromuskulären Funktionsanalyse" [82]. Aussagekräftige EMG-Daten können im Zusammenhang mit den Parametern Ruheaktivität, maximale Muskelaktivierung, Frequenzspektrum bei anhaltender Belastung und Symmetrie des Kontraktionsverhaltens beider Kieferseiten gewonnen werden [86, 87].

## 3. Nutzen

### 3.1 EMG in der zahnärztlichen Prothetik

Bei der Beurteilung der funktionellen Wertigkeit rekonstruktiver Maßnahmen werden klassischerweise die technische Ausführung und die Zufriedenheit des Patienten betrachtet. Die



Einbeziehung der EMG liefert hierzu zusätzlich ergänzende, neuromuskuläre Aspekte berücksichtigende Informationen. Der Einsatz von EMG-Ableitungen im klinischen Alltag kann beispielsweise zum Vergleich erfolgen vor dem Hintergrund des neuromuskulären Balanceverhaltens in Interkuspitation vor und nach Versorgung oder bei der Korrektur der Okklusion nach Inkorporation von Zahnersatz. Studien geben Hinweise darauf, dass sich Symmetrieunterschiede im Rekrutierungsverhalten der Muskulatur, ausgelöst durch okklusale Niveauunterschiede, am individuellen Patienten darstellen lassen [88, 89].

### 3.2 EMG in der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik und Funktionstherapie

Das neuromuskuläre System reagiert mit reproduzierbaren, elektromyographisch erfassbaren Veränderungen auf Schmerzen. Die Oberflächen-Elektromyographie ist kein direktes Verfahren zur Objektivierung von Schmerzen [87]. Die für die klinische Beurteilung wichtigsten Abweichungen sind bei maximaler Kontraktion der Muskulatur, in der Ruheaktivität und beim Frequenzspektrum unter Belastung zu finden. Ferner wird über Symmetrieunterschiede im Kontraktionsverhalten der Muskulatur berichtet [86, 87].

- *Maximale Kontraktion:* Entsprechend der Hypothese des Schmerz-Adaptations-Modells sind bei Myoarthropathie(MAP)-Patienten verminderte maximale Muskelaktivierungen und geringere Kraftentwicklungen bei statischer Muskelkontraktion zu finden.
- *Ruheaktivität:* Die konsistent zu beobachtende erhöhte Ruheaktivität bei MAP-Patienten kann im Sinne einer Schmerzadaptation vor allem als Muskelversteifung interpretiert werden, um lädierte Muskeln oder Muskelregionen zu schützen. Im Gegensatz hierzu kommt es bei kraftvollen phasischen Aktivitäten zu einer ausgeprägten Muskelhemmung. Auch experimentell erzeugte Muskelererschöpfung (*fatigue*) führt zu erhöhter Ruheaktivität. Studien aus jüngerer Zeit weisen eine erhöhte Ruheaktivität bei Schmerzpatienten nach.
- *Fatigue:* Wie für die Extremitätenmuskulatur konnten zahlreiche Studien auch für die Kaumuskulatur zeigen, dass sich mit zunehmender Erschöpfung der Muskulatur die mittlere Frequenz des Power-Spektrums (MPF) schneller zu geringeren Mittelwerten bewegt, als dies bei gesunden Systemen zu beobachten ist.
- *Symmetrie der Muskelkontraktion:* Es gibt Hinweise darauf, dass sich die Symmetrie des Kontraktionsverhaltens zwischen beiden Kieferseiten bei MAP-Patienten unterscheidet.

Aus EMG-Ableitungen sind folgende ergänzende Informationen ableitbar:

- Erhöhte Erschöpfbarkeit als Indikator für das Ausmaß der individuellen Muskelläsion
- Minderung der Kontraktionsfähigkeit als Indikator für das Ausmaß der individuellen Muskelläsion
- Erhöhte Ruheaktivität als Hinweis auf Kiefergelenkläsionen, klinisch nicht manifeste Muskelläsionen, Stressfaktoren oder hypervigilante Disposition des Patienten
- Darstellung der Veränderung des Rekrutierungsmusters der Muskulatur bei der okklusalen Modifikation von Okklusionsschienen (Veränderung der maximalen Kontraktionsfähigkeit, Veränderung des Rechts-Links-Balanceverhaltens) als Indikator für therapeutisch wirksame Effekte und zur Verlaufskontrolle.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Der Zugewinn an Informationen über das dynamische, auf die Muskulatur bezogene Verhalten durch die Elektromyographie lässt das Verfahren für weiterführende, differenzierte Diagnostik im funktionsgestörten Kausystem geeignet erscheinen.

Der klinische Einsatz der Elektromyographie setzt spezifische Kenntnisse des Verfahrens voraus, das - wie andere kinematische Verfahren im zahnärztlichen Bereich - immer im Kontext einer eingehenden Anamnese und klinischen Funktionsdiagnostik zu sehen ist.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

## Zukünftiger Forschungsbedarf

### Instrumentelle Bewegungsanalyse

- Es liegen bislang keine klinischen, randomisierten kontrollierten Studien vor, die die Bedeutung individuell erfasster Funktionsparameter - erhoben anhand instrumenteller Bewegungsaufzeichnungen - im Vergleich zur mittelwertigen Festlegung bei der Gestaltung von Kauflächen für festsitzenden bzw. festsitzend-herausnehmbaren Zahnersatz untersucht haben. Die Durchführung solcher Studien stellt in mehrfacher Hinsicht eine extreme Herausforderung dar, da die Studien neben hohen finanziellen Aufwendungen (Kosten für Untersucher und Patienten, Akquisition geeigneter Patienten sowie für den herzustellenden Zahnersatz) erheblichen Aufwand hinsichtlich der Standardisierung auf zahntechnischer Seite sowie in Bezug auf die Festlegung und Ermittlung relevanter Outcome-Parameter erfordern (patientenzentrierte neben oralphysiologisch basierte Parameter). Vor dem Hintergrund der für solche Studien erforderlichen Patientenzahlen erscheint ein multizentrisches Studiendesign mit den damit verbundenen Herausforderungen der Untersucherkalibrierung erforderlich.
- Bislang liegen sehr wenige Studien vor, die Bewegungsaufzeichnungen an einem großen, bevölkerungsrepräsentativen Personenkollektiv vorgenommen haben. Im Gefolge einer klinischen Funktionsanalyse und ggf. einer manuellen Strukturanalyse sowie weiterer assoziierter Ergänzungsuntersuchungen (instrumentell bzw. bildgebend) bieten die Resultate solcher Studien die Möglichkeit, den Bereich der als *physiologisch* einzustufenden Bewegungsfunktion gegenüber der gestörten Funktion, der Dysfunktion, abzugrenzen, diagnostische Kriterien für Dysfunktion zu bestimmen und mit bestehenden Daten und konzeptionellen Überlegungen abzugleichen.
- Es fehlen klinische Verlaufsstudien, die im Rahmen funktionstherapeutischer Maßnahmen die klinische Bedeutung instrumenteller Bewegungsaufzeichnungen im Therapieprozess anhand gut definierter und zahlenmäßig adäquat repräsentierter *Untergruppen* von CMD- bzw. TMD/MAP-Patienten darzustellen vermögen.
- Es fehlen Studien zu der Fragestellung, ob die zahntechnische Umsetzung im Rahmen des digitalen Workflows in der Lage ist, digitale Daten gleichwertig zu analogen Verfahren umzusetzen.

### Kondylenpositionsanalyse

- Nicht ausreichend untersucht ist derzeit, inwieweit verschiedene Registriertechniken zu räumlich unterschiedlichen Positionen der Gelenke führen und ob solche unterschiedlichen Registrierungen von Patienten ungleich gut adaptiert werden, wenn sie in Zahnersatz umgesetzt werden.
- Es fehlen Studien, wie genau diese Position am Patienten, im zahntechnischen Labor (z. B. CAD/CAM) und im Artikulator eingestellt werden kann.
- Zur Reliabilität der Kondylenpositionsanalyse und der präzisen Anwendung der ermittelten Messergebnisse im zahntechnischen Labor fehlen sowohl für die Übertragung der Daten in einen analogen Artikulator, wie auch in ein virtuelles Artikulatorsystem unterstützende Studien.

### Horizontale Kieferrelationsbestimmung

Es fehlen prospektive und - sofern realisierbar - verblindete klinische Studien, die mehrere unterschiedliche Verfahren zur horizontalen Kieferrelationsbestimmung vergleichend untersuchen und die eine größere Stichprobe unter Beachtung folgender Parameter beinhalten:

- Welchen Einfluss hat eine unterschiedliche Aktivierung der Kieferschließ-Muskulatur (Kraft bei der

Aufzeichnung und der eigentlichen Registrierung) auf die Position der Kondylen bei der Stützstift-Registrierung?

- Führt eine unterschiedliche Kieferschließkraft während der Verschlüsselung zu einer unterschiedlichen Akzeptanz der Patienten mit den eingliederten Restaurationen?
- Gibt es Unterschiede in der Zufriedenheit von Patienten mit Restaurationen, die mittels handgeführter horizontaler Kieferrelationsbestimmung oder Stützstift-Registrierung erstellt wurden?
- Welchen Einfluss hat eine moderate Führung des Unterkiefers bei der Stützstift-Registrierung auf die Position der Kondylen gegenüber Bewegungen, die alleine durch den Patienten während der Aufzeichnung ausgeführt werden?
- Welchen Einfluss hat die Einengung des Mundraumes / die Verdrängung der Zungenmuskulatur auf die Position der Kondylen bei der Stützstift-Registrierung?
- Wo liegt das Belastungszentrum bei totalen Oberkiefer- und Unterkieferprothesen?
- Inwieweit weicht das *gemeinsame* "Zentrum der Belastung" bei Totalprothesen bei Kieferschluss mit Stützstiftplatten von den jeweiligen Belastungszentren der einzelnen Kiefer ab?
- Wie hoch ist der apparative und zeitliche Aufwand bei Anwendung der handgeführten horizontalen Kieferrelationsbestimmung im Vergleich zur Stützstift-Registrierung?

### **Oberflächen-Elektromyographie der Kaumuskulatur**

- Bislang fehlen Studien, die anhand eines großen, möglichst bevölkerungsrepräsentativen Kollektivs Referenzwerte für EMG-Parameter für verschiedene Altersgruppen von funktionsgesunden Personen bestimmt und bei den ermittelten Daten die Zuverlässigkeit EMG-spezifischer Untersuchungstechniken untersucht haben. Ebenfalls wären klinische Studien mit ausreichend großen Patientenzahlen wünschenswert, die Vergleichswerte für EMG-Parameter für genau definierte Untergruppen von Patienten mit kranio-mandibulären Dysfunktionen liefern.
- Sinnvoll sind klinische Studien, die die Auswirkungen unterschiedlicher funktionstherapeutischer Maßnahmen und verschiedener Formen zahnärztlich-restaurativer Versorgung im Hinblick auf Veränderungen von EMG-Parameter in den Fokus stellen. Dabei ist auch von Interesse, in welcher Form sich Beziehungen zwischen einzelnen EMG-Parametern einerseits und klinischen Befunden und patientenbezogener Einschätzung andererseits ergeben.
- Das Zusammenführen kinematischer und elektromyographischer Daten im Sinne der kinesiologischen Elektromyographie bietet Potenzial, den Kauprozess bzw. das Kauvermögen – auch unter Hinzuziehung von Daten zum Zerkleinerungsgrad von (Test)-Nahrung über Partikelgrößenverteilung – einer objektiveren Beurteilung zuzuführen. Klinische Studien mit ausreichend bemessenen Fallzahlen zur Erhebung von Vergleichs- bzw. Referenzwerten im physiologischen Kontext wie auch klinische Studien an gut definierten Patientengruppen sind erforderlich, um die Aussagekraft der Untersuchungsstrategie im Rahmen einer erweiterten zahnärztlichen Funktionsanalyse zuverlässig zu belegen.

## Literaturverzeichnis

1. Academy of Denture Prosthetics: Glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent* 1968;20:447-480
2. Academy of Denture Prosthetics: Glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent* 1977;38:70-109
3. Academy of Denture Prosthetics: Glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent* 1987;58:717-762
4. Academy of Denture Prosthetics: Glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent* 1999;81:48-110
5. Agerberg G: Avstånd mellan olika okklusionslägen och deras reproducerbarhet vid bettregistrering. *Swed Dent J* 1971;64:185-195
6. Agerberg G, Eckerdal O: Occlusal and temporomandibular joint relations: a comparative study. *Cranio* 1987;5:234-238
7. Ahlers MO, Bernhardt O, Jakstat HA et al: Motion analysis of the mandible: concept for standardized evaluation of computer-assisted recording of condylar movements. *J Craniomand Function* 2014;6:333-352
8. Ahlers MO, Biffar R, Bumann A et al: Gemeinsame Stellungnahme der AFDT und DGzPW: Terminologie der Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (AFDT) und der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGzPW). *Dtsch Zahnärztl Z* 2006;61:8-10
9. Ahlers MO, Edinger D: Vermessung der Unterkieferposition bei verschiedenen Zentrikregistraten unter Einsatz des Robotersystems ROSY. *Dtsch Zahnärztl Z* 1995;50:481-485
10. Ahlers MO, Jakstat H: Development of a computer-assisted system for model-based condylar position analysis (E-CPM). *Int J Computerized Dentistry* 2009;12:223-234
11. Alexander SR, Moore RN, DuBois LM: Mandibular condyle position: Comparison of articulator mountings and magnetic resonance imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;104:230-239
12. Banzer W, Pfeifer K, Vogt L: Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin. Springer, Berlin 2004
13. Bernard N, Schmitt L, Utz K-H: Intraorale und extraorale Bestimmung der sagittalen Kondylenbahnneigung im simultanen Vergleich. *Dtsch Zahnärztl Z* 1993;48:309-312
14. Bernard N, Utz K-H, Schmitt L: Intraorale Bestimmung der sagittalen Kondylenbahnneigung während der Gesichtsbogenübertragung. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1995;105:18-23
15. Bernard N, Utz K-H, Schmitt L: Zur Präzision der mechanischen Achsiographie. *Dtsch Zahnärztl Z* 1996;51:469-472
16. Bernhardt O, Kordaß B, Meyer G: The diagnostic value of computerized jaw tracking for arthrogenous temporomandibular disorders (TMDs). *J Craniomand Function* 2014;6:39-50
17. Bernhardt O, Meyer G: Aufzeichnung der Kiefergelenkbahnen. In: Ash MM (Hrsg): Schienentherapie - Evidenzbasierte Diagnostik und Behandlung bei TMD und CMD Elsevier Urban und Fischer, München 2006, 192-199
18. Bias F: Instrumentelle Funktionsanalyse - elektronische Registrierverfahren. In: Stelzenmüller WWJ (Hrsg): Therapie von Kiefergelenkschmerzen Thieme, Stuttgart 2010, 203-218
19. Bicaj T, Usami H, Mericske-Stern R et al: Change of the condyle-position in maximum intercuspitation during digital, clinical occlusal analysis. *J Craniomand Function* 2013;5:267-276
20. Blaschke DD, Blaschke TJ: Normal TMJ bony relationships in centric occlusion. *J Dent Res* 1981;60:98-104
21. Böhm A: Untersuchungen zur Variabilität elektronischer Kondylenpositionsanalysen im gesunden Probandengut und ihre Bedeutung für die Ätiologie und Diagnostik von Diskopathien des Kiefergelenkes. Med Diss, München 1994
22. Böhm A, Rammelsberg P, May H-C, Pho Duc J-M, Pospiech P, Gernet W: Direkte dreidimensionale elektronische Kondylenpositionsanalysen zur Bestimmung von RKP-IKP-Diskrepanzen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1995;50:35-39
23. Böhm A, Rammelsberg P, Pho Duc J-M, May H-C, Pospiech P, Gernet W: Elektronische Kondylenpositionsanalyse bei Gesunden und Patienten mit anteriorer Diskusverlagerung im Kiefergelenk. *Dtsch Zahnärztl Z* 1995;50:553-557
24. Boitel RH: Das TMJ-Instrument von Swanson-Wipf, ein praktischer Artikulator. *Schweiz Monatsschr Zahnheilk* 1968;78:471-480
25. Borchers L, Jung T, Kpodzo-Yamoah E, Masterson J: Zur Reproduzierbarkeit der Relationsbestimmung. *Dtsch Zahnärztl Z* 1979;34:599-602
26. Bräunig B: Zentrische Kondylenpositionsanalyse - Übersicht und klinische Bewertung nach Untersuchungen mittels computergestützter Messsysteme. Med Diss, Greifswald 2012
27. Bumann A, Lotzmann U: Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien. Thieme, Stuttgart 2000

28. Celenza FV: The centric position: replacement and character. *J Prosthet Dent* 1973;30:591-598
29. Cordray FE: Three-dimensional analysis of models articulated in the seated condylar position from a deprogrammed asymptomatic population: A prospective study. Part 1. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2006;129:619-630
30. Crawford SD: Condylar axis position, as determined by the occlusion and measured by the CPI instrument, and signs and symptoms of temporomandibular dysfunction. *Angle Orthod* 1999;69:103-116
31. De Laat A, van Steenberghe D: Occlusal relationships and temporomandibular joint dysfunction. Part I: Epidemiologic findings. *J Prosthet Dent* 1985;54:835-842
32. De Laat A, van Steenberghe D, Lesaffre E: Occlusal relationships and temporomandibular joint dysfunction. Part II: Correlations between occlusal and articular parameters and symptoms of TMJ dysfunction by means of stepwise logistic regression. *J Prosthet Dent* 1986;55:116-121
33. Delbach HA: Klinisch-experimentelle Evaluation des Intraoral Pressuredependent Registration (IPR)-Systems zur maxillomandibulären Relationsbestimmung. Med Diss, Marburg 2005
34. Demling A, Ismail F, Fauska K, Schwestka-Polly R, Stiesch-Scholz M: Änderung der Kondylenposition nach Eingliederung verschiedener Okklusionsschienen. *Dtsch Zahnärztl Z* 2008;63:749-754
35. Denen HE: Movements and positional relations of the mandible. *J Am Dent Assoc* 1938;25:548-552
36. Du Bois-Reymond EH: Untersuchungen über thierische Elektrizität. Reimer, Berlin 1848
37. Engelhardt JP: Die funktionelle Störung des sogenannten Kauorgans - der erste Kontakt mit dem Patienten. In: Hahn W (Hrsg): Funktionslehre - aktueller Stand und praxisgerechte Umsetzung Hanser, München 1993, 25-45
38. Engelhardt JP: Die instrumentelle Funktionsanalyse im Behandlungskonzept der täglichen Praxis. *Dtsch Zahnärztl Z* 1993;48:287-292
39. Eschler J: Elektrophysiologische und -pathologische Untersuchungen des Kausystems. 1. Mitteilung: Allgemeines und Spezielles zur Elektrophysiologie. *Dtsch Zahnärztl Z* 1952;16:958-961
40. Etz E, Hellmann D, Giannakopoulos NN, Schmitter M, Rammelsberg P, Schindler HJ: The variability of centric jaw relations in the process chain of prosthetic restorations and their neuromuscular effects. *J Craniomand Function* 2012;4:141-156
41. Felber M: Beeinflussen tageszeitliche Schwankungen die Grösse und Lage des Adduktionsfeldes? Med Diss, Bonn 1982
42. Freesmeyer WB: Zahnärztliche Funktionstherapie. Hanser, München 1993
43. Freiwald J, Baumgart C, Konrad P: Einführung in die Elektromyographie - Sport, Prävention, Rehabilitation. Spitta, Balingen 2007
44. Gaither EL, Sadowsky PL, Vlachos CC, Wallace DD: Discrepancies between centric occlusion and centric relation in orthodontically treated patients. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1997;12:23-33
45. Galvani L: De viribus electricitatis in motu musculari. De bononiensi scientiarum et atrium instituto atque academia commentarii. Bononiae: Ex typographia scientiarum 1791;1:363-418
46. Gausch K, Koch W, Kulmer S: Die Lage der Kondylen bei habitueller und therapeutischer Okklusion. *Dtsch Zahnärztl Z* 1975;30:37-43
47. Gausch K, Kulmer S: Der Kondymeter. *Dtsch Zahnärztl Z* 1978;33:540-542
48. Gemeinsame Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ) und der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK): Instrumentelle Funktionsanalyse. *Dtsch Zahnärztl Z* 2002;57:659-659
49. Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (AFDT) in der DGZMK zur Diagnostik funktioneller Störungen des kranio-mandibulären Systems mittels klinischer Maßnahmen: Klinische Funktionsanalyse. *Dtsch Zahnärztl Z* 2003;58:383-384
50. Gerber A: Okklusion und Artikulation in der Prothetik. Condylator Service, CH-8038 Zürich 1960
51. Gerber A: Aesthetik, Okklusion und Artikulation der totalen Prothese. *Öst Z Stomatol* 1964;61:46-54
52. Gerber A: Registriertechnik für Prothetik, Okklusionsdiagnostik, Okklusionstherapie. Condylator-Service, CH-8038 Zürich 1986
53. Gilbert DB, Ludlow JB, Tyndall DA, Bailey L, Phillips C: Analysis of condylar position change: A test of validity of posteroanterior cephalometric and 20-degree lateral cephalometric techniques enhanced by digital subtraction. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1994;9:311-321
54. Grasso JE, Sharry J: The duplicability of arrow-point tracings in dentulous subjects. *J Prosthet Dent* 1968;20:106-115
55. Gray RJM, Quayle AA, Horner K: The effects of positioning variations in transcranial radiographs of the temporomandibular joint: a laboratory study. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1991;29:241-249

56. Gschossmann K, Müller J, Bruckner G, Schmid Ch, Hochholzer M, Gernet W: Vergleich eines direkten mit einem indirekten Verfahren zur Kondylenpositionsanalyse. *Dtsch Zahnärztl Z* 1995;50:547-552
57. Gysi A: The problem of articulation. Part I. *Dent Cosmos* 1910;52:1-19
58. Gysi A: The problem of articulation. Part II. *Dent Cosmos* 1910;52:148-169
59. Gysi A: The problem of articulation. Part III. *Dent Cosmos* 1910;52:268-283
60. Gysi A: The problem of articulation. Part IV. *Dent Cosmos* 1910;52:403-417
61. Gysi A: Die Gysi-Methode. Die Herstellung einer totalen Prothese nach Prof. Gysi. DeTrey / Dentsply GmbH, Dreieich 1932
62. Hall RE: An analysis of the work and ideas of investigators and authors of relations and movements of the mandible. *J Am Dent Assoc* 1929;16:1642-1693
63. Hanau RL: Occlusal changes in centric relation. *J Am Dent Assoc* 1929;16:1903-1915
64. He SS, Deng X, Wamalwa P, Chen S: Correlation between centric relation-maximum intercuspation discrepancy and temporomandibular joint dysfunction. *Acta Odontol Scand* 2010;68:368-376
65. Helkimo M, Ingervall B, Carlsson GE: Variation of retruded and muscular position of mandible under different recording conditions. *Acta Odontol Scand* 1971;29:423-437
66. Helkimo M, Ingervall B, Carlsson GE: Comparison of different methods in active and passive recording of the retruded position of the mandible. *Scand J Dent Res* 1973;81:265-271
67. Hellmann D, Becker G, Giannakopoulos NN et al: Precision of jaw-closing movements for different jaw gaps. *Eur J Oral Sci* 2014;122:49-568
68. Hellmann D, Etz E, Giannakopoulos NN, Rammelsberg P, Schmitter M, Schindler HJ: Accuracy of transfer of bite recording to simulated prosthetic reconstructions. *Clin Oral Investig* 2013;17:259-267
69. Helsing G, McWilliam JS: Repeatability of the mandibular retruded position. *J Oral Rehabil* 1985;12:1-8
70. Henriques JCG, Fernandes Neto AJ, Almeida GA, Machado NAG, Lelis ER: Cone-beam tomography assessment of condylar position discrepancy between centric relation and maximal intercuspation. *Braz Oral Res* 2012;26:29-35
71. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G: Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol* 2000;10:361-374
72. Hermens HJ, Freriks B, Merletti R, Stegeman D, Blok J, Rau G: European recommendations for surface electromyography (SENIAM 8). Roessingh, Enschede 1999
73. Hidaka O, Adachi S, Takada K: The difference in condylar position between centric relation and centric occlusion in pretreatment japanese orthodontic patients. *Angle Orthod* 2002;72:295-301
74. Hoffman PJ, Silverman SI, Garfinkel L: Comparison of condylar position in centric relation and in centric occlusion in dentulous subjects. *J Prosthet Dent* 1973;30:582-588
75. Hohlfeld E, Hupfauf L: Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit des Symphysenbahnwinkels. *Dtsch Zahnärztl Z* 1970;25:13-18
76. Horn R, Vetter A: Untersuchungen zur Differenz zwischen habitueller Interkuspitation und retraler Kontaktposition. *Dtsch Zahnärztl Z* 1976;31:295-299
77. Horn R, Vetter A: Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit zentraler Registrare nach Lauritzen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1976;31:721-724
78. Horn R, Vetter A: Untersuchungen zur Unterkieferposition bei zentralen Registraten nach Lauritzen im Vergleich mit der graphischen Methode. *Dtsch Zahnärztl Z* 1976;31:874-877
79. Howell RA: A clinical study of horizontal jaw relationships in edentulous patients. *J Dent* 1981;9:318-327
80. Hugger A: Gelenknahe elektronische Erfassung der Unterkieferfunktion und ihre Umsetzung in den Artikulator. *Med Habil Schr, Düsseldorf* 2000
81. Hugger A, Hugger S, Ahlers MO, Schindler HJ, Türp JC, Kordaß B: Movement function of the mandible: A concept for structuring criteria for analysis and for standardizing computer-assisted recordings (Expert statement for developing Diagnostic Criteria for Dysfunction). *J Craniomand Function* 2013;5:41-53
82. Hugger A, Hugger S, Schindler HJ: Surface electromyography of the masticatory muscles for application in dental practice. Current evidence and future developments. *Int J Computerized Dentistry* 2008;11:81-106
83. Hugger A, Kordaß B, Assheuer J, Stüttgen U: Auswirkung stützstiftgeführter Unterkieferbewegungen auf Strukturen des Kiefergelenkes. *Dtsch Zahnärztl Z* 1995;50:536-539
84. Hugger A, Schindler HJ: Unterkieferbewegungen und deren Simulation. In: Hugger A, Türp JC, Kerschbaum T (Hrsg): *Curriculum Orale Physiologie Quintessenz*, Berlin 2006, 53-83
85. Hugger A, Sons T, Kordaß B, Assheuer J, Stüttgen U: Analyse der Kondylenposition im sagittalen Kernspintomogramm. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999;54:380-383

86. Hugger S, Schindler HJ, Kordaß B, Hugger A: Clinical relevance of surface EMG of the masticatory muscles (Part 1): Resting activity, maximal and submaximal voluntary contraction, symmetry of EMG activity. *Int J Computerized Dentistry* 2012;15:297-314
87. Hugger S, Schindler HJ, Kordass B, Hugger A: Surface EMG of the masticatory muscles (Part 2): Fatigue testing, mastication analysis and influence of different factors. *Int J Comput Dent* 2013;16:37-58
88. Hugger S, Schindler HJ, Kordaß B, Hugger A: Surface EMG of the masticatory muscles (Part 3): Impact of changes to the dynamic occlusion. *Int J Computerized Dentistry* 2013;16:119-123
89. Hugger S, Schindler HJ, Kordaß B, Hugger A: Surface EMG of the masticatory muscles (Part 4): Effects of occlusal splints and other treatment modalities. *Int J Computerized Dentistry* 2013;16:225-239
90. Husemann J-P: Vergleichende Untersuchungen von vier Methoden zur Bestimmung der sagittalen Unterkieferlage beim Zahnlosen unter besonderer Berücksichtigung der "funktionellen Relationsbestimmung". *Dtsch Zahnärztl Z* 1978;33:519-522
91. Hützen D, Rebau M, Kordaß B: Clinical reproducibility of GEDAS - "Greifswald digital analyzing System" for displaying occlusal contact patterns. *Int J Computerized Dentistry* 2011;14:105-109
92. Ikeda K, Kawamura A, Ikeda R: Assessment of optimal condylar position in the coronal and axial planes with limited cone-beam computed tomography. *J Prosthodont* 2011;20:432-438
93. Ingervall B, Helkimo M, Carlsson GE: Recording of the retruded position of the mandible with application of varying external pressure to the lower jaw in man. *Arch Oral Biol* 1971;16:1165-1171
94. Ismail YH, Rokni A: Radiographic study of condylar position in centric relation and centric occlusion. *J Prosthet Dent* 1980;43:327-330
95. Jakstat H: Zur Lage des neutralen Belastungspunkts im zahnlosen Unterkiefer. *Dtsch Zahnärztl Z* 1993;48:576-577
96. Jakstat H, Gütschow F: Messung der aufgewendeten Kieferschlußkraft während der Stützstiftregistrierung bei vollbezahnten Probanden. *Dtsch Stomatol* 1991;41:117-120
97. Jankelsson RR: Neuromuscular dental diagnosis and treatment. Ishiyaku Euro America, St. Louis 1990
98. Jaschouz S, Mehl A: Reproducibility of habitual intercuspation in vivo. *J Dent* 2014;42:210-218
99. Jordan T: Vergleich eines computergestützten Registrierungssystems mit dem zentralen Stützstiftregistrat. *Med Diss, Kiel* 2002
100. Jüde H-D, Jakstat H, Vogel A, Genieser A: Das Ergebnis der Stützstiftregistrierung in Abhängigkeit von Kraft und veränderter Stiftposition in der Transversalen. *Dtsch Stomatol* 1991;41:273-275
101. Jüde H-D, Vogel A, Jakstat H, Genieser A: Über den Einfluss der Kieferschlußkraft auf das Ergebnis der Stützstiftregistrierung in der Sagittalen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1990;45:561-563
102. Jung T, Borchers L, Engelke Th, Wiese G: Zur Kieferrelationsbestimmung bei zahnlosen, behinderten und bettlägerigen Patienten. *Dtsch Zahnärztl Z* 1986;41:1189-1192
103. Jungbäck I: Vergleichende Untersuchung zwischen konventioneller und computergestützter, kraftkontrollierter Registrierung der gelenkbezüglichen Zentrallage des Unterkiefers (Pfeilwinkelregistrierung). *Med Diss, Gießen* 2003
104. Kamps N: Untersuchungen über das Adduktionsfeld. *Med Diss, Bonn* 1978
105. Kandasamy S, Boeddinghaus R, Kruger E: Condylar position assessed by magnetic resonance imaging after various bite position registrations. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2013;144:512-517
106. Kapur KK, Yurkstas AA: An evaluation of centric relation records obtained by various techniques. *J Prosthet Dent* 1957;7:770-786
107. Kingery RH: A review of some of the problems associated with centric relation. *J Prosthet Dent* 1952;2:307-319
108. Klasser GD, Okeson JP: The clinical usefulness of surface electromyography in the diagnosis and treatment of temporomandibular disorders. *J Am Dent Assoc* 2006;137:763-771
109. Kloos HM: Die zentrale und habituelle Okklusion. *Med Diss, Mainz* 1970
110. Koller M, Ludwig J, Voß R: Streubereiche von Handbissnahme und Stützstiftregistrierung. *Dtsch Zahnärztl Z* 1983;38:40-43
111. Konrad P: EMG-Fibel - eine praxisorientierte Einführung in die kinesiologische EMG. Velamed, Köln 2005
112. Kordaß B: Koppelung der Kernspintomographie des Kiefergelenkes mit computergestützten Aufzeichnungen der Kondylenbahn - neue Aspekte für die funktionsorientierte Kiefergelenkdiagnostik und -therapie. Quintessenz, Berlin 1996
113. Kordaß B: Computer-assisted instrumental functional diagnostics - state of development, possibilities and limits. *Int J Comput Dent* 2002;5:249-269



114. Kordaß B: Dentale Informatik. In: Gernet W, Biffar R, Schwenzer N, Ehrenfeld M (Hrsg): Zahnärztliche Prothetik Thieme, Stuttgart 2007, 269-286
115. Kordaß B, Bernhardt O, Ratzmann A, Hugger S, Hugger A: Standard and limit values of mandibular condylar and incisal movement capacity. *Int J Comput Dent* 2014;17:9-20
116. Kordaß B, Hugger A: Instrumentelle Verfahren zur Berücksichtigung der Unterkieferfunktion. In: Marxkors R (Hrsg): Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln 2010, 283-303
117. Kordaß B, Hugger A, Bernhardt O: Correlation between computer-assisted measurements of mandibular opening and closing movements and clinical symptoms of temporomandibular dysfunction. *Int J Computerized Dentistry* 2012;15:93-107
118. Kordaß B, Mundt T: Instrumentelle Funktions- und Okklusionsanalyse - state-of-the-art der diagnostischen Möglichkeiten. Teil 1: Instrumentelle Funktionsanalyse. *Quintessenz* 2003;54:1061-1077
119. Kordaß B, Mundt T: Instrumentelle Funktions- und Okklusionsanalyse - state-of-the-art der diagnostischen Möglichkeiten. Teil 2: Instrumentelle Okklusionsanalyse. *Quintessenz* 2003;54:1179-1188
120. Kühl W: Okklusion und Artikulation in der Totalprothetik. *Dtsch Zahnärztl Z* 1970;25:218-222
121. Kulmer S: Die Kieferrelation im Wechselgebiss. Teil II. *Öst Z Stomatol* 1977;74:398-411
122. Lauritzen AG: Atlas of occlusal analysis. HAH Publications, 100 East Cheyenne Road, Colorado Springs, Colorado 80906 1960
123. Lentner E, Rammelsberg P, Böhm A, Pospiech P, Gernet W: Zum Untersuchereinfluss auf Lage und Reproduzierbarkeit der zentrischen Kondylenposition. *Dtsch Zahnärztl Z* 1997;52:411-415
124. Lewin A: Electrognathographics- atlas of diagnostic procedures and interpretation. Quintessence, Chicago 1985
125. Linsen S, 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* 2012;107:47-54
126. Linsen S, Weisbach M, Grüner M, Koeck B: Über den Einfluss der Kieferschließkraft und der Verschiebung des Stützstiftes in der Transversalen und die intraorale Stützstiftregistrierung. *Dtsch Zahnärztl Z* 2006;61:286-290
127. Linsen SS, Stark H, Klitzschmüller M: Reproducibility of condyle position and influence of splint therapy on different registration techniques in asymptomatic volunteers. *J Cranio & Sleep Prac* 2013;31:32-39
128. Lippold C, Hoppe G, Moiseenko T, Ehmer U, Danesh G: Analysis of condylar differences in functional unilateral posterior crossbite during early treatment - a randomized clinical study. *J Orofac Orthop* 2008;4:283-296
129. Long JH: Location of the terminal hinge axis by intraoral means. *J Prosthet Dent* 1970;23:11-24
130. Ludlow JB, Soltmann R, Tyndall D, Grady JJ: Accuracy of quantification of mandibular condyle displacement in digitally subtracted linear tomograms. *Dentomaxillofac Radiol* 1992;21:83-87
131. Ludlow JB, Soltmann R, Tyndall D, Grady JJ, Hill C: Digitally subtracted linear tomograms: Three techniques for measuring condylar displacement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1991;72:614-620
132. Mack H: Der Mandibular-Positions-Indikator. *Dtsch Zahnärztl Z* 1980;35:611-615
133. Malchau A: Die Aufzeichnung des Symphysenbahnwinkels mit Hilfe unterschiedlich geneigter Registrierplatten. Med Diss, Bonn 1975
134. Malchau A: Zur Lagedifferenz der Kondylen bei Aufzeichnung des Symphysenbahnwinkels. *Dtsch Zahnärztl Z* 1976;31:736-738
135. Manfredini D, Favero L, Federzoni E, Cocilovo F, Guarda-Nardini L: Kinesiographic recordings of jaw movements are not accurate to detect magnetic resonance-diagnosed temporomandibular joint (TMJ) effusion and disk displacement: findings from a validation study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2012;114:457-463
136. Marxkors R, Solomon EGR: Studien zur habituellen und zentralen Okklusion im voll- und teilbezahnten Gebiss. *Dtsch Zahnärztl Z* 1970;25:840-844
137. Mayer K: Die Reproduzierbarkeit der instrumentellen Funktionsanalyse am Beispiel der Remontage nach Gerber. *Dtsch Zahnärztl Z* 1992;47:107-108
138. McGrane HF: Five basic principles of the McGrane full denture procedure. *J Fla State Dent Soc* 1949;20:5-8
139. McKee JR: Comparing condylar position repeatability for standardized versus nonstandardized methods of achieving centric relation. *J Prosthet Dent* 1997;77:280-284

140. Menezes AV, De Almeida SM, Boscolo FN, Haiter-Neto F, Ambrosano GMB, Manzi FR: Comparison of transcranial radiograph and magnetic resonance imaging in the evaluation of mandibular condyle position. *Dentomaxillofac Radiol* 2008;37:293-299
141. Merletti R, Parker AP: *Electromyography - physiology, engeneering, and noninvasive applications*. John Wiley & Sons, New Jersey 2004
142. Meyer G: Praxisgerechte instrumentelle Funktionsdiagnostik. In: Hahn W (Hrsg): *Funktionslehre - aktueller Stand und praxisgerechte Umsetzung* Hanser, München 1993, 59-72
143. Meyer G: Elektronisches Registrieren der Unterkieferbewegungen und der Kiefergelenkfunktion. In: Siebert GK (Hrsg): *Atlas der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik* Hanser, München 1996, 271-288
144. Moyers RE: An electromyographic analysis of certain muscles involved in temporomandibular movement. *Am J Orthod* 1950;36:481-515
145. Myers M, Dziejma R, Goldberg J, Ross R, Sharry J: Relation of gothic arch apex to dentist-assisted centric relation. *J Prosthet Dent* 1980;44:78-81
146. Nicolakis P, Kopf A: Klinische Ganganalyse. In: Fialka-Moser V (Hrsg): *Kompendium physikalische Medizin und Rehabilitation* Springer, Wien 2013, 205-215
147. Obrez A, Stohler CS: Jaw muscle pain and its effect on gothic arch tracings. *J Prosthet Dent* 1996;75:393-398
148. Ogata K, Satoh M: Centre and magnitude of vertical forces in complete denture wearers. *J Oral Rehabil* 1995;22:113-119
149. 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* 1996;37:63-69
150. Payne AGL: Gothic arch tracing in the edentulous. *Br Dent J* 1969;126:220-223
151. Pfeifer K, Vogt L: Elektromyographie. In: Banzer W, Pfeifer K, Vogt L (Hrsg): *Funktionsdiagnostik des Bewegungssysteme in der Sportmedizin* Springer, Berlin 2004, 165-182
152. Phillips GP: Fundamentals in the reproduction of mandibular movements in edentulous mouths. *J Am Dent Assoc* 1927;14:409-415
153. Piehslinger E, Babka A, Permann R, Slavicek R: Elektronische Axiographie zur objektiven Erfolgsbeurteilung der Therapie mit Aufbissbehelfen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994;49:770-773
154. Piper H: *Elektrophysiologie menschlicher Muskeln*. Springer, Berlin 1912
155. Posselt U: Studies in the mobility of the human mandible. *Acta Odontol Scand* 1952;10:1-150
156. Posselt U: An analyzer for mandibular positions. *J Prosthet Dent* 1957;7:368-374
157. Posselt U, Yahr RG: A comparison of the gnatho-thesiometer with lateral cephalometric and temporomandibular joint radiographs in measuring certain antero-posterior positions of the mandible. *Odontol Revy* 1957;8:458-466
158. Quooß A, Ruge S, Kordaß B: GEDAS II - New possibilities in digital contact point analysis. *Int J Computerized Dentistry* 2011;14:105-109
159. Rahman M, Kohno S, Kobayashi H, Sawada K: Influence of the inclination of the plate of an intra-oral tracing device on the condylar position registered by tapping movement. *J Oral Rehabil* 2004;31:546-553
160. Rammelsberg P: *Untersuchungen über Ätiologie, Diagnose und Therapie von Diskopathien des Kiefergelenkes*. Med Habil Schr, Berlin 1998
161. Rammelsberg P, Jäger L, Schubinski P, Pho Duc J-M, Pospiech P: Vermessung des Gelenkspaltes und seine Bedeutung für Diagnostik und Ätiologie von Diskusverlagerungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999;54:339-344
162. Reiber T, Behneke N: Klinische Versuche zur Reproduzierbarkeit von Modellmontagen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1986;41:494-495
163. Reiber T, Bettendorf A, Lixfeld-König M, Weimar HG: Vergleich klinischer und instrumenteller Verfahren zur Analyse der Kiefergelenkposition. *Dtsch Zahnärztl Z* 1988;43:44-46
164. Reiber T, Schilling HT, Behneke N: Über die Reproduzierbarkeit von Modellmontagen nach der "Lauritzen-Technik". *Dtsch Zahnärztl Z* 1985;40:92-95
165. Reusch D, Feyen J: Aufzeichnung von Kiefergelenkbewegungen und Simulation im Artikulator. In: Heinenberg BJ (Hrsg): *Innovationen für die Zahnkeilkunde Spitta*, Balingen 1993, Teil 30
166. Reusch D, Lenze PG, Fischer H: *Rekonstruktion von Kauflächen und Frontzähnen*. Westerburger Kontakte, Westerbürg 1990
167. Richter M: Gnathologische Untersuchungen im Milchgebiss. Teil II. *Öst Z Stomatol* 1980;77:284-294
168. Richter M: Gnathologische Untersuchungen im Milchgebiss. Teil III. *Öst Z Stomatol* 1980;77:306-320

169. Rinchuse DJ: A three-dimensional comparison of condylar change between centric relation and centric occlusion using the mandibular position indicator. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;107:319-328
170. Rosner D, Goldberg GF: Condylar retruded contact position and intercuspal position correlation in dentulous patients Part I: Three-dimensional analysis of condylar registrations. *J Prosthet Dent* 1986;56:230-237
171. Roßbach A: Untersuchungen über die Belastungsveränderungen am unteren Prothesenlager bei der intraoralen Pfeilwinkeltechnik. *Dtsch Zahnärztl Z* 1972;27:630-634
172. Santosa RE, Azizi M, Whittle T, Wanigaratne K, Klineberg IJ: The influence of the leaf gauge and anterior jig on jaw muscle electromyography and condylar head displacement: a pilot study. *Aust Dent J* 2006;51:33-41
173. Sauer G: Bestimmung der sagittalen Unterkieferlage nach sechs verschiedenen Methoden und Kontrolle der Reproduzierbarkeit. *Dtsch Zahnärztebl* 1969;13:470-479
174. Sauer G: Bestimmung und kritischer Vergleich zweier Methoden zur Registrierung der sagittalen Unterkieferlage. *Dtsch Zahnärztl Z* 1970;25:546-552
175. Schindler HJ, Hugger A: Kauphysiologie und Kieferreflexe. In: Hugger A, Türp JC, Kerschbaum T (Hrsg): *Curriculum Orale Physiologie Quintessenz*, Berlin 2006, 113-142
176. Schmid-Schwab M, Sengstbratl M, Piehslinger E, Themistokleious X, Buber I: Reproduzierbarkeit der IKP von artikulatormontierten Modellen - Untersuchungen mit dem elektronischen Kondymeter. *Stomatologie* 1999;96:131-137
177. Schössler K-P: Ein neues Registrierset zur intraoralen Pfeilwinkelzeichnung. *Stomatol DDR* 1987;37:660-663
178. Schöttl W: *Das TMR-System*. Die Quintessenz, Berlin, Chicago, Rio de Janeiro, Tokio 1978
179. Schröder D: Untersuchungen zur Differenz zwischen Handbissnahme und Stützstiftregistrierung bei der Relationsbestimmung am Zahnlosen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1976;31:725-729
180. Schuyler CH: Intra-oral method of establishing maxillomandibular relation. *J Am Dent Assoc* 1932;19:1012-1021
181. Setz D, Hupfaut L: Vergleichende Untersuchungen über die Bestimmung der sagittalen Kieferbeziehungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1970;25:845-848
182. Shafagh I, Amirloo R: Replicability of chinpoint-guidance and anterior programmer for recording centric relation. *J Prosthet Dent* 1979;42:402-404
183. Shafagh I, Yoder JL, Thayer KE: Diurnal variance of centric relation position. *J Prosthet Dent* 1975;34:574-582
184. Schildkraut M, Wood DP, Hunter WS: The CR-CO discrepancy and its effect on cephalometric measurements. *Angle Orthod* 1994;64:333-342
185. Sindedecker L: Effect of different centric relation registrations on the pantographic representation of centric relation. *J Prosthet Dent* 1981;46:271-279
186. Slavicek R: *Das Kauorgan - Funktionen und Dysfunktionen*. Gamma, Klosterneuburg 2000
187. Slavicek R, Mack H: Messung der Auswirkung von unterschiedlichen Okklusionsbeziehungen auf die Kiefergelenke. *Schweiz Monatsschr Zahnheilk* 1979;89:925-930
188. Smith HF: A comparison of empirical centric relation records with location of terminal hinge axis and apex the gothic arch tracing. *J Prosthet Dent* 1975;33:511-520
189. Smola A: Untersuchungen über das Adduktionsfeld und die Long Centric bei Probanden mit einer Distalbisslage des Unterkiefers. *Med Diss*, Bonn 1986
190. Sonntagbauer H, Sassen H: Reproduzierbarkeit zentrischer Registrare bei der Remontage totaler Prothesen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1982;37:269-272
191. Staehle HJ: Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit unterschiedlicher Bissnahmetechniken. *Dtsch Zahnärztl Z* 1983;38:617-620
192. Stamm T, Hohoff A, van Meegen A: On the three-dimensional physiological position of the temporomandibular joint. *J Orofac Orthop* 2004;65:280-289
193. Stamm T, Wöstmann B: Zur Genauigkeit der computerunterstützten elektronischen Scharnierachsenbestimmung. *Dtsch Zahnärztl Z* 1996;51:413-415
194. Swanson KH: Complete dentures using the TMJ articulator. *J Prosthet Dent* 1979;41:497-506
195. Teo CS, Wise MD: Comparison of retruded axis articular mountings with and without applied muscular force. *J Oral Rehabil* 1981;8:363-376
196. The Academy of Prosthodontics: The glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent* 2005;94:10-92

197. Thielemann K: Funktionelle Zusammenhänge von Zahnreihenformen, Kiefergelenken und Kieferbewegungen. *Paradentium* 1939;48:144-154
198. Tinnemann P, Stöber Y, Roll S, Vauth C, Willich SN, Greiner W: Zahnmedizinische Indikationen für standardisierte Verfahren der instrumentellen Funktionsanalyse unter Berücksichtigung gesundheitsökonomischer Aspekte. HTA Bericht 101. DAHTA des Deutschen Institut für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI), Köln 2010
199. Tuppy F, Celar RM, Celar A, Piehslinger E: The reproducibility of condylar hinge axis positions in patients, by different operators, using the electronic mandibular position indicator. *J Orofac Pain* 1994;8:315-319
200. Türp JC, Hugger A, Nilges P et al: Aktualisierung der Empfehlungen zur standardisierten Diagnostik und Klassifikation von Kaumuskel- und Kiefergelenkschmerzen. *Schmerz* 2006;20:481-489
201. Türp JC, John M, Nilges P et al: Schmerzen im Bereich der Kaumuskulatur und Kiefergelenke - Empfehlungen zur standardisierten Diagnostik und Klassifikation von Patienten. *Schmerz* 2000;14:416-428
202. Türp JC, Schindler HJ, Rodiger O, Smeekens S, Marinello CP: Vertikale und horizontale Kieferrelation in der rekonstruktiven Zahnmedizin. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2006;116:403-411
203. Tyndall DA, Phillips C, Malone-Trahey A, Renner J, Hill C: Validity of digital subtraction of transcranial plain films in quantification of positional changes of the mandibular condyle. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1991;71:748-755
204. Tyndall DA, Renner JB, Phillips C, Matteson SR: Positional changes of the mandibular condyle assessed by three-dimensional computed tomography. *J Oral Maxillofac Surg* 1992;50:1164-1172
205. Utt TW, Meyers CE, 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* 1995;107:298-308
206. Utz K-H: Studies of changes in occlusion after the insertion of complete dentures. Part I. *J Oral Rehabil* 1996;23:321-329
207. Utz K-H: Studies of changes in occlusion after the insertion of complete dentures. Part II. *J Oral Rehabil* 1997;24:376-384
208. Utz K-H, Bernard N, Hültenschmidt R, Kurbel R: Differenzen zwischen myozentrischer und zentrischer Kondylenposition bei Totalprothesenträgern. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994;49:557-562
209. Utz K-H, Bernard N, Hültenschmidt R, Wegmann U, Huntebrinker W: Reproduzierbarkeit der Pfeilwinkelregistrierung bei Vollbezahnten in Abhängigkeit vom Registratmaterial. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1992;102:299-307
210. Utz K-H, Bernard N, Hültenschmidt R, Wegmann U, Kurbel R: Reproduzierbarkeit der Handbissnahme bei Totalprothesenträgern. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1993;103:561-566
211. Utz K-H, Bernard N, Wegmann U, Huntebrinker W: Reproduzierbarkeit der Pfeilwinkelregistrierung bei der Remontage von Totalprothesen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1991;101:438-444
212. Utz K-H, Duvenbeck H: Zur Problematik der Positionsdiagnostik mit Hilfe der Achsiographie. *Dtsch Zahnärztl Z* 1989;44:62-65
213. Utz K-H, Duvenbeck H, Oettershagen K: Distanz zwischen terminaler Scharnierachsenposition und Interkuspitationsposition im Kiefergelenkbereich. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1990;100:42-49
214. Utz K-H, Duvenbeck H, Oettershagen K: Variation der terminalen Scharnierachsenposition bei verschiedenen Registriermethoden. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1990;100:412-419
215. Utz K-H, Müller F, Bernard N, Hültenschmidt R, Kurbel R: Handbissnahme oder Stützstiftregistrierung zur Einstellung der maximalen Interkuspitation bei Totalprothesenträgern. *Zahnärztl Welt* 1993;102:780-791
216. 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* 1995;22:717-726
217. Utz K-H, Müller F, Lückcrath W, Fuß E, Koeck B: Accuracy of check-bite registration and centric condylar position. *J Oral Rehabil* 2002;29:458-466
218. Utz K-H, Müller F, Lückcrath W et al: The lateral leeway in the habitual intercuspation: Experimental studies and literature review. *J Oral Rehabil* 2007;34:406-413
219. Utz K-H, Schmitter M, Freesmeyer WB et al: Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien e.V. (vormals DGZPW): Kieferrelationsbestimmung. *Dtsch Zahnärztl Z* 2010;65:766-775
220. Utz K-H, Schneider D, Feyen J et al: Complete denture displacement following open-mouth relin. *J Oral Rehabil* 2012;67:485-492

221. Vahle-Hinz K, Rybczynski A, Jakstatt H, Ahlers MO: Condylar position analysis with a new electronic condylar position measuring instrument E-CPM: Influence of different examiners and a working bite on reproducibility. *Int J Computerized Dentistry* 2009;12:235-246
222. Vogel A: Objektive Messtechnik zur physiologischen Bestimmung der Unterkieferposition. *Zahnärztl Welt* 1999;108:136-138
223. Vogel A, Jakstatt H, Jüde H-D: Experimentelle Untersuchungen zum Einfluß der Registrierkraft auf das Ergebnis der Stützstiftregistrierung. *Dtsch Stomatol* 1990;40:363-365
224. Vogt L: Instrumentelle Ganganalyse - Grundlagen, Mehrwert, Grenzgebiete. Med Diss, Berlin 2005
225. Weber NA: Untersuchungen zur Präzision des intraoralen Stützstiftregistrates bei der Ermittlung der zentrischen Kieferrelation verglichen mit der maximalen Interkuspitationsposition funktionsgesunder Probanden. Med Diss, Münster 2006
226. Weffort SYK, de Fantini SM: Condylar displacement between centric relation and maximum intercuspation in symptomatic and asymptomatic individuals. *Angle Orthod* 2010;80:835-841
227. Weisbach M: Über den Einfluss der Kieferschliesskraft und der Verschiebung des Stützstiftes in der Transversalen auf die intraorale Stützstiftregistrierung. Med Diss, Bonn 2005
228. Williamson EH, Caves SA, Edenfield RJ, Morse PK: Cephalometric analysis: Comparisons between maximum intercuspation and centric relation. *Am J Orthod* 1978;74:672-677
229. Wood DP, Elliott RW: Reproducibility of the centric relation bite registration technique. *Angle Orthod* 1994;64:211-220
230. Wood DP, Korne PH: Estimated and true hinge axis: A comparison of condylar displacements. *Angle Orthod* 1992;62:167-175
231. Yurkstas AA, Kapur KK: Factors influencing centric relation records in edentulous mouths. *J Prosthet Dent* 1964;14:1054-1065
232. Zorn A: Vergleich verschiedener Methoden zur Kieferrelationsbestimmung mit Hilfe des IPR-Systems. Med Diss, Berlin 2015

## Spezielle und weiterführende Literaturverzeichnisse, nicht im Text zitiert

### Spezielles Literaturverzeichnis zu Teil 1:

#### Validität elektronischer Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen

1. Ahangari AH, Torabi K, Pour SR, Ghodsi S: Evaluation of the Cadiax Compact II accuracy in recording preadjusted condylar inclinations on fully adjustable articulator. *J Contemp Dent Pract* 2012;13:504-508
2. Aizawa H, Motoki T, Miyamae S, Tanaka Y, Hiranuma K: Studies on accuracy of mandibular movement measuring system "Condylcomp LR3". Abstract und Poster #1394. *J Dent Res* 1998;77:806
3. Balkhi KM, Tallents RH, Goldin B, Catania JA: Error analysis of a magnetic jaw-tracking device. *J Craniomandib Disord Facial Oral Pain* 1991;5:51-56
4. Baulig H, Reiber T: Experimentelle Untersuchung zur Präzision des String Condylcomp LR2 [Experimental studies of the precision of the String Condylcomp LR2]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1995;50:533-535
5. Behneke N: Aufzeichnungen von Unterkieferbewegungen mit dem Sirognathograph [Recordings of mandibular movements with the sirognathograph]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1985;40:192-195
6. Bendel G: Kinematik der Unterkieferbewegung – eine experimentelle Studie. *Med Diss München* 1984
7. Celar A: Messgenauigkeit der Scharnierachsschreibung mit Cadiax compact – Pilotstudie. *Stomatol* 2001;98:183-185
8. Celar AG, Tamaki K: Accuracy of recording horizontal condylar inclination and Bennett angle with the Cadiax compact. *J Oral Rehabil* 2002;29:1076-1081
9. Chang WSW, Romberg E, Driscoll CF, Tabacco MJ: An in vitro evaluation of the reliability and validity of an electronic pantograph by testing with five different articulators. *J Prosthet Dent* 2004;92:83-89
10. Cousin J: Über die Reproduzierbarkeit axiographischer Messungen mit dem String-Condylcomp LR2. *Med Diss Münster* 1992
11. Diederichs S, Wolf R, Dirksen D, Lechler B, Bollmann F: Vergleich des klinischen Resilienztests nach Gerber mit entsprechenden Messungen durch den String Condylcomp LR3 [Comparative study of Gerber's clinical resilience test with the corresponding String Condylcomp LR3 measurements]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1997;52:246-251
12. Endo Y, Aoki H, Fujita T, Yamamura M, Takeuchi N, Kimoto K, Tamaki K, Nagashima Y: A study of recording accuracy in linear measurements displayed by Sirognathograph. *Bull Kanagawa Dent Coll* 1990;18:103-105
13. Ernst S: Reproduzierbarkeit von Kiefergelenksregistraten gewonnen mit dem SAS-Condylcomp nach G. Meyer und R. Klett. *Med Diss München* 1991
14. Fischer-Brandies H, Kluge G, Theusner J: Über die Linearität und Fehlerkorrektur des Scharnierachsschreibsystems nach Meyer/dal Ri [Linearity and error correction of the Meyer/dal Ri hinge axis measurement system]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1990;45:S16-S18
15. Goedecke U: Untersuchungen der apparativen Genauigkeit des Ultraschall-Laufzeit-Messsystems MT 1602 im Vergleich zur physiologischen Streuung von temporomandibulären Parametern. *Med Diss Erlangen-Nürnberg* 1994
16. Gräml HJ: Ein computergestützter Vergleich des Kauverhaltens und der Kaumuster von Totalprothesenträgern und Vollbezahnten. *Med Diss Erlangen-Nürnberg* 1984
17. Hannam AG, DeCou RE, Scott JD, Wood WW: The kinesiographic measurement of jaw displacement. *J Prosthet Dent* 1980;44:88-93
18. Hellmann D, Becker G, Giannakopoulos NN, Eberhard L, Fingerhut C, Rammelsberg P, Schindler HJ: Precision of jaw-closing movements for different jaw gaps. *Eur J Oral Sci* 2014;122:49-56
19. Hofmann M, Pröschel P: Unterkieferdynamik und Kaumuster von Totalprothesenträgern und Vollbezahnten – eine Pilotstudie [Mandible dynamics and chewing pattern of subjects with complete dentures and subjects with a full set of teeth – a pilot study]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1982;37:763-771
20. Hugger A, Edinger D, Stüttgen U: Eine diagnostische Erweiterungssoftware zum String-Registriersystem [A diagnostic supplement to the Sting recording system]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1996;51:424-428
21. Hugger A, Kunstmann S, Berntien U, Stüttgen U: The measurement accuracy of two electronic recording systems. *J Dent Res* 1997;76:1125
22. Hugger A, Kordaß B, Edinger D, Stüttgen U: Simultane Bewegungsaufzeichnungen mit zwei

- berührungslos messenden Registriersystemen [Two systems for simultaneous recording of three-dimensional mandibular movements]. Dtsch Zahnärztl Z 1997;52:536-539
23. Hugger A, Kordaß B, Edinger D, Berntien U, Stüttgen U: Bewegungsdarstellung im Okklusalbereich bei berührungslos messenden Registriersystemen [Electronic imaging of occlusal movements with touch-free recording of jaw movements]. Dtsch Zahnärztl Z 1998;53:535-538
  24. Hugger A, Paak S, Berntien U, Bollmann F, Stüttgen U: Accuracy of electronic jaw recordings for articulator adjustment. J Dent Res 2000;79:531
  25. Hugger A, Bölöni E, Berntien U, Stüttgen U: Artikulatorjustierung mit Hilfe elektronischer Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen. Poster Präsentation [Articulator adjustment with the help of electronic jaw movement recordings]. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Berlin 2000
  26. Hugger A, Bölöni E, Berntien U, Stüttgen U: Accuracy of an ultrasonic measurement system for jaw movement recording. J Dent Res 2001;80:1226
  27. Hussain MAM: Präzision und Validität des Ultraschall-Diagnostikgerätes CMS20JMA. Med Diss Ulm 2008
  28. Ino S, Tamaki K, Aoki H, Endo Y, Ohba H, Kimura T, Ikeda Y, Fujita T: An experimental study on the measurement accuracy of the computerized axiography. Bull Kanagawa Dent Coll 1995;23:93-97
  29. Jankelson B: Measurement accuracy of the mandibular kinesiograph – a computerized study. J Prosthet Dent 1980;44:656-666
  30. Kazazoglu E, Heath MR, Ferman AM, Davis GR: Recording mandibular movement: technical and clinical limitations of the Sirognathograph. J Orofac Pain 1994;8:165-177
  31. Kobs G, Didziulyte A, Kirlys R, Stacevisius M: Reliability of ARCUSdigma (KaVo) in diagnosing temporomandibular joint pathology. Stomatologija 2007;9:47-55
  32. Küspert VM: Präzision und Validität des Ultraschall-Diagnostikgerätes CMS20JMA. Med Diss Ulm 2007
  33. Kullmann A: Reliability testing of an ultrasonic real-time motion tracking device. MS Thesis Minneapolis/Minnesota 1991
  34. Lückerrath W: Das Transversale und vertikale Bewegungsspiel des Unterkiefers im Bereich der Kauflächen und der Kiefergelenke – eine klinisch-experimentelle Untersuchung bei funktionsgesunden und funktionsgestörten Probanden. Med Habil Schr Bonn 1991
  35. Mantout B, Giraudeau A, Perez C, Re JP, Orthlieb JD: Technical validation of a computerized condylographic system. J Stomat Occ Med 2008;1:45-50
  36. Männer E: Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit von Registrierungen mit Hilfe des String-Recorders. Med Diss Erlangen-Nürnberg 1988
  37. Mayer C: Überprüfung der Reproduzierbarkeit des Scharnier-Achsen-Schreibsystems nach Meyer/dal Ri an Hand von Artikulatoren. Med Diss Tübingen 1991
  38. Meyer G: Entwicklung und Anwendung eines elektronischen Verfahrens zur dreidimensionalen scharnierachspunktbezüglichen Registrierung von Unterkieferbewegungen für die Funktionsdiagnostik des stomatognathen Systems. Med Habil Schr Göttingen 1986
  39. Michler L, Bakke M, Möller E: Graphic assessment of natural mandibular movements. J Craniomandib Disord Facial Oral Pain 1987;1:97-114
  40. Motyka BM: Überprüfung elektronisch axiographischer Befunde auf ihre Zuverlässigkeit. Med Diss Würzburg 1990
  41. Ott KHR, Olavarria LE, Bose M: Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit von Registrierungen mit dem Condylocomp LR2 [Studies on the reproducibility of recordings obtained with the Condylocomp LR2]. Dtsch Zahnärztl Z 1991;46:596-598
  42. Piehslinger E, Celar R, Horejs T, Ulm C, Slavicek R: Elektronische Axiographie am Phantom – eine experimentelle Kontrolle des Messsystems [Computerized axiography on a dummy – an experimental control of the measuring system]. Stomatol 1993;90:481-488
  43. Röhlich AKH: Das ECR-System und der String-Recorder – zwei Geräte zur Unterkieferbewegungsaufzeichnung: ein Vergleich. Med Diss Tübingen 1989
  44. Schrader U: Untersuchungen zur Messgenauigkeit des elektronischen Messsystems MT 1602 unter besonderer Berücksichtigung klinischer Aspekte. Med Diss Düsseldorf 1994
  45. Stainer M, Niedermoser A, Kulmer S, Pfeiffer KP: Computergestützte Axiographiesysteme und mechanische Axiographie – experimenteller Vergleich der Messgenauigkeit [Computer assisted axiography systems and mechanical axiography – experimental comparison of accuracy in measurements]. Stomatol 1998;95:101-109
  46. Stamm T, Wöstmann B: Zur Genauigkeit der computerunterstützten elektronischen

- Scharnierachsenbestimmung [Accuracy of computer-aided electronic hinge axis determination]. Dtsch Zahnärztl Z 1996;51:413-415
47. Tsolka P, Woelfel JB, Man WK, Preiskel HW: A laboratory assessment of recording reliability and analysis of the K6 diagnostic system. J Craniomandib Disord Facial Oral Pain 1992;6:273-280
  48. Van der Straeten H: Das Dynamikverhalten des Kondylus bei reziprokem Kiefergelenkknacken. Med Diss Bonn 1996
  49. Wagner A, Seemann R, Schicho K, Ewers R, Piehslinger E: A comparative analysis of optical and conventional axiography for the analysis of temporomandibular joint movements. J Prosthet Dent 2003;90:503-509
  50. Weißling F: Vergleichende klinische Untersuchung der elektronischen Registriersysteme GAMMA-Cadiax und JMA. Med Diss Greifswald 2003
  51. Wöstmann B, Wegener H, Cousin J, Balkenhol M: Zur Messgenauigkeit elektronischer Registriersysteme [Measuring accuracy of electronic tracing systems]. Dtsch Zahnärztl Z 1995;50:544-546
  52. Zeiser W: Vergleichende Untersuchung der Mandibularkinesiographie und Sirognathographie. Med Diss Regensburg 1988

### Spezielles Literaturverzeichnis zu Teil 1:

#### Klinische Reliabilität elektronischer Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen

1. Best N: Untersuchungen zur Reliabilität und Validität der dreidimensionalen Kiefergelenkfunktionsanalyse mittels Zebris WinJaw-System. Med Diss Jena 2010
2. Demling A: Vergleich der Reproduzierbarkeit elektronisch ermittelter Funktionsparameter bei Patienten und Probanden. Med Diss Hannover 2004
3. Demling A, Stiesch-Scholz M: Vergleich der Reproduzierbarkeit elektronisch ermittelter Funktionsparameter bei Patienten und Probanden [Reproducibility of electronically registered functional parameters in patients and healthy subjects]. Dtsch Zahnärztl Z 2007;62:162-167
4. Giraudeau A, Cheynet F, Mantout B, Déjou J, Sarrat P, Orthlieb JD: Diagnostic of intracapsular derangement of TMJ: comparison of clinical examination and condylography with MRI. Stomatol 2007;104:154-167
5. Hugger A, Hugger S, Niedermeier W, Morneburg T, Wessling F, Jakstat HA, Verde PE, Bollmann F: Reliability of computer assisted determination of functional jaw parameters. Poster (P14) 24<sup>th</sup> biannual conference of the Society of Oral Physiology, Reykjavik/ Iceland 2005
6. Hugger A, Kaminski B, Stüttgen U: Electronically determined condylar parameters under the influence of tooth guided and needle point guided jaw movements. J Dent Res 2003;82:B50
7. Hugger A, Vogt S, Berntien U, Stüttgen U: The reproducibility of electronic jaw recordings. J Dent Res 1998;77:1029
8. Jüngling N, Smolenski UC, Loth D: Untersuchung zur Reliabilität und Validität der dreidimensionalen Funktionsanalyse des Kiefergelenks [Investigation of reliability and validity of the three-dimensional function analysis of the temporomandibular joint]. Manuelle Med 2004;42:441-448
9. Kazazoglu E, Heath MR, Ferman AM, Davis GR: Recording mandibular movement: technical and clinical limitations of the Sirognathograph. J Orofac Pain 1994;8:165-177
10. Kobs G, Didziulyte A, Kirlyš R, Stacevicius M: Reliability of ArcusDigma (KaVo) in diagnosing temporomandibular joint pathology. Stomatologija 2007;9:47-55
11. Kruschik D: Der Einfluss des intraoralen Stützstifts auf computergestützt erhobene dynamische Funktionswerte. Med Diss Düsseldorf 2007
12. Kucukkeles N, Ozkan H, Ari-Demirkaya A, Cilingirturk AM: Compatibility of mechanical and computerized axiographs: a pilot study. J Prosthet Dent 2005;94:190-194
13. Männer E: Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit von Registrierungen mit Hilfe des String-Recorders. Med Diss Erlangen-Nürnberg 1988
14. Motyka BM: Überprüfung elektronisch axiographischer Befunde auf ihre Zuverlässigkeit. Med Diss Würzburg 1990



15. Oberle A: Vergleichende Untersuchung von Patienten mit und ohne Myoarthropathien (MAP) mit der elektronischen Achsiographie unter Berücksichtigung der Messwiederholung. Masterthese Greifswald 2007
16. Oberle A: Vergleich der Reproduzierbarkeit der elektronischen Achsiographie bei Probanden und Patienten. Zahnärztl Welt 2009;118:150-157
17. Petrie CS, Woolsey GD, Williams K: Comparison of recordings obtained with computerized axiography and mechanical pantography at 2 time intervals. J Prosthodont 2003;12:102-110
18. Pfrommer E: Streuung bei der Aufzeichnung der Kondylenbewegungen am Patienten mit dem SAS-System (an Hand von Grenzbewegungen des Unterkiefers). Med Diss Tübingen 1991
19. Schierz O, Wagner P, Schoen G, Reissmann DR: Influence of fixation methods on computerized condylar path angle assessment. Poster #1955, IADR General Session Seattle 2013
20. Schierz O, Klinger N, Schön G, Reißmann DR: The reliability of computerized condylar path angle assessment [Reliabilität der computergestützten Gelenkbahnneigungsvermessung]. Int J Comput Dent 2014;17:35-51
21. Stiesch-Scholz M: Gelenkfern und gelenknah aufgezeichnete Registriersysteme: Vergleich der Reproduzierbarkeit [Reproducibility of an intraoral and extraoral electronic jaw recording system]. Dtsch Zahnärztl Z 2003;58:411-416
22. Stiesch-Scholz M, Demling A, Rossbach A: Reproducibility of jaw movements in patients with craniomandibular disorders. J Oral Rehabil 2006;33:807-812
23. Trump HM: Vergleichende Untersuchung verschiedener Registrierverfahren zur Bestimmung der Kondylenbahnneigung und des Bennettwinkels. Med Diss FU Berlin 1999
24. Vogt S: Untersuchungen zur klinischen Reproduzierbarkeit gelenknah aufgezeichneter Unterkieferbewegungen mit Hilfe des String-Condylocomp LR3. Med Diss Düsseldorf 1999
25. Weßling F: Vergleichende klinische Untersuchung der elektronischen Registriersysteme GAMMA-Cadiax und JMA. Med Diss Greifswald 2003
26. Zimmer B, Keese E, Kubein-Meesenburg D: Untersuchungen zur Reliabilität achsiographischer Aufzeichnungen mit dem SAS-System [Studies on the reliability of axiographic recordings using SAS system]. Dtsch Zahnärztl Z 1989;44:S58-61
27. Zimmer B, Keese E, Kubein-Meesenburg D: Reliabilität von achsiographischen Auffälligkeiten [The reliability of axiographic tracings]. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1989;99:1386-1391

### Spezielles Literaturverzeichnis zu Teil 1:

#### Struktur bezogenes diagnostisches Potenzial von Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen

1. Bauer W, Augthun M, Wehrbein H, Müller-Leise C, Diedrich P: Diagnostik und kieferorthopädische Relevanz der anterioren Diskusverlagerung ohne Reposition [The diagnosis and orthodontic relevance of anterior disk displacement without reduction. Clinical, axiographic and magnetic resonance tomographic studies]. Fortschr Kieferorthop 1994;55:21-27
2. Bumann A, Groot Landeweer G: Reziproke Knackphänomene – Zuverlässigkeit der Axiographie. Phillip J 1991;8:377-379
3. Bernhardt O, Kordass B, Meyer G: The diagnostic value of computerized jaw tracking for arthrogenous temporomandibular disorders (TMD). J Craniomandib Function 2014;6:39-50
4. Giraudeau A, Cheynet F, Mantout B, Déjou J, Sarrat P, Orthlieb JD: Diagnostic of intracapsular derangement of TMJ: comparison of clinical examination and condylography with MRI. Stomatol 2007;104:154-167
5. Huddleston Slater JJR, Lobbezoo F, Chen YJ, Naeije M: A comparative study between clinical and instrumental methods for the recognition of internal derangements with a clicking sound on condylar movement. J Orofac Pain 2004;18:138-147
6. Kobs G: Differentialdiagnostische Aspekte bei der Beurteilung von Funktionsstörungen des stomatognathen Systems mittels elektronischer Achsiographie und Magnetresonanztomographie. Med Diss Greifswald 2003

7. Kobs G, Bernhardt O, Meyer G: Accuracy of computerized axiography controlled by MRI in detecting internal derangements of the TMJ. *Stomatologija* 2004;6:7-10
8. Landes C, Walendzik H, Klein C: Sonography of the temporomandibular joint from 60 examinations and comparison with MRI and axiography. *J Cranio-Maxillofac Surg* 2000;28:352-361
9. Lochmiller W, Bumann A, Groot Landeweer G: Zur Wertigkeit der elektronischen Axiographie in der klinischen Funktionsdiagnostik [On the validity of the electronic axiography in clinical functional diagnostics]. *Fortschr Kieferorthop* 1991;52:268-273
10. Manfredini D, Favero L, Cocilovo F, Guarda-Nardini L: Kinesiographic recordings of jaw movements are not accurate to detect magnetic resonance-diagnosed temporomandibular joint (TMJ) effusion and disk displacement: findings from a validation study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2012;114:457-463
11. Manfredini D, Favero L, Michieli M, Salmaso L, Cocilovo F, Guarda-Nardini L: An assessment of the usefulness of jaw kinesiography in monitoring temporomandibular disorders. *J Am Dent Ass* 2013;144:397-405
12. Marpaung CM, Kalaykova SI, Lobbezoo F, Naeije M: Validity of functional diagnostic examination for temporomandibular joint disc displacement with reduction. *J Oral Rehabil* 2014;41:243-249
13. Moritz M, Behr M, Held P, Dammer R, Niederdelmann H: Comparative study of results of electronic axiography with results of magnetic resonance imaging including MRI-assisted splint therapy. *Acta Stomatologica Belgica* 1995;92:35-38
14. Ozawa S, Tanne K: Diagnostic accuracy of sagittal condylar movement patterns for identifying internal derangement of the temporomandibular joint. *J Orofacial Pain* 1997;12:222-231
15. Parlett K, Paesani D, Tallents RH, Hatala MA: Temporomandibular joint axiography and MRI findings: a comparative study. *J Prosthet Dent* 1993;70:521-531
16. Piancino MG, Cirillo S, Frongia G, Cena F, Bracco AA, Bracco P: Axiography and MRI in the diagnosis of temporomandibular joint pathology. *J Stomat Occ Med* 2009;2:50-51
17. Piancino MG, Cirillo S, Frongia G, Cena F, Bracco AA, Dalmaso P, Bracco P: Sensitivity of magnetic resonance imaging and computed axiography in the diagnosis of temporomandibular joint disorders in a selected patient population. *Int J Prosthodont* 2012;25:120-126
18. Piehslinger E, Schimmerl S, Celar A, Traxler M, Imhof H, Slavicek R: Gegenüberstellung von Magnetresonanztomographie und elektronischer Axiographie in der Kiefergelenksdiagnostik. *Inform Orthodont Kieferorthop* 1993;25:525-535
19. Piehslinger E, Schimmerl S, Celar A, Crowley C, Imhof H: Comparison of magnetic resonance tomography with computerized axiography in diagnosis of temporomandibular joint disorders. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1995;24:13-19
20. Rammelsberg P, Pospiech P, May HC, Gernet W: Evaluation of diagnostic criteria from computerized axiography to detect internal derangements of the TMJ. *J Craniomandib Pract* 1996;14:286-295
21. Rammelsberg P: Untersuchungen über Ätiologie, Diagnose und Therapie von Diskopathien des Kiefergelenkes. Quintessenz, Berlin 1998
22. Rozencweig G: Évaluation comparative de deux moyens d'investigation des dysfonctions cranio-mandibulaires: l'axiographie et l'imagerie en résonance magnétique. *Rev Orthop Dento Faciale* 1991;25:205-213
23. Romanelli GG, Harper R, Mock D, Pharoah MJ, Tenenbaum HC: Evaluation of temporomandibular joint internal derangement. *J Orofac Pain* 1993;7:254-262
24. Schwahn B, Bernhardt O, Genz T, Meyer G, Biffar R: Kraniomandibuläre Dysfunktion: Vergleichende Untersuchung mit Hilfe der SAS-Achiographie und des MRT [Craniomandibular dysfunction: comparative study using SAS axiography and MRI]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1996;51:420-423
25. Saiczek ASEI: Magnetresonanztomographische, achiographische und klinische Befunde bei Patienten mit Funktionsstörungen des stomatognathen Systems. Med Diss Aachen 1998