



## S2k Guideline (Extended Version) Instrumental Functional Analysis in Dentistry

S2k-Leitlinie (Langversion)

## Instrumentelle zahnärztliche Funktionsanalyse



Published at/Publiziert bei



AWMF-Registernummer: 083-017

Stand: Dezember 2015

Gültig bis: Dezember 2020

AWMF Register Number: 083-017

Date of the last content change and status: December 2015

Valid until: December 2020

### Federführende Fachgesellschaften:

Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFDT)

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

### Leading Scientific Society:

German Society of Craniomandibular Function and Disorders (DGFDT)

German Society of Dental, Oral and Craniomandibular Sciences (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)

### Participating Professional Groups:

Working Group Psychology and Psychosomatics in the DGZMK (AKPP)

German Dental Association (BZÄK)

German Working Group for Dentistry (DAZ)

German Society for Aesthetic Dentistry (DGÄZ)

German Society of Computerized Dentistry (DGCZ)

German Society of Dental, Oral and Craniomandibular Sciences (DGZMK)

German Society for Prosthetic Dentistry and Biomaterials (DGPro)

German Association of Statutory Health Insurance Dentists (KZBV)

Association of German Dental Technicians (VDZI)

German Association of Medical Professions (VMF)

**Authors:**

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

**Co-authors:**

Klaus Bartsch (VDZI)  
 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)

**Methodological Consultants:**

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

**Date of Creation:** December 2015

**Date of Last Content Change / Status:** December 2015

**Valid until:** December 2020

*The "guidelines" of scientific and medical societies are systematically developed statements designed to assist clinicians in making decisions in specific situations. They are based on current scientific evidence and good medical practice; they aim to ensure greater safety in medicine while also taking economic aspects into account. As "guidelines" are not legally binding for clinicians, they have no legal effect as a basis for proving or refuting liability.*

**Autoren:**

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

**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.*

## 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 (DGFDT) zum Thema „Instrumentelle Funktionsanalyse“ datiert vom 01.05.2002<sup>48</sup>. Sie wurde am 01.01.2003 überarbeitet<sup>49</sup>. 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<sup>198</sup> 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<sup>219</sup>. 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

## About this Guideline

Against the backdrop of multiple different examination techniques and instruments for dental functional analysis, action-steering guidebooks are often lacking. With this guideline, the authors aim to present a suitable reference work, particularly with regard to classification, purpose, and benefits as well as the expected therapeutic consequences of the available tools and techniques of dental functional analysis.

The last German Society for Functional Diagnostics and Therapy (DGFDT) guideline on “Instrumental Functional Analysis” dates back to May 1, 2002<sup>48</sup>. It was revised on January 1, 2003<sup>49</sup>. This earlier version shall be replaced by this new manual, which was developed with improved methodology in terms of structured consensus development by a representative multidisciplinary group of experts, and is thus classified as “S2k guideline”. New instrumental functional analysis techniques developed in the last decade also had to be considered.

Moreover, a guideline for instrumental functional analysis was also lacking in the Health Technology Assessment (HTA) report series published by the German Institute of Medical Documentation and Information (DIMDI)<sup>198</sup>.

### Patient and Professional Target Groups

This guideline applies to all ambulatory patient groups who receive functional analysis and treatment for craniomandibular disorders, i.e., temporomandibular disorders (TMD). This guideline is aimed at dentists.

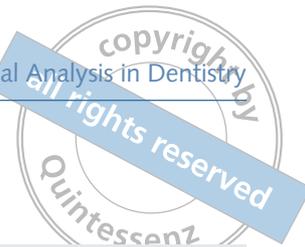
### Exemptions from the Guideline

The subject of jaw relation recording has already been explained and discussed in detail in the still current guideline entitled “Scientific Communications of the German Society for Prosthetic Dentistry and Biomaterials (DGPro, formerly DGZPW): Jaw Relation Recording”<sup>219</sup>. Manually guided horizontal as well as vertical jaw relation recordings are not the subject of this guideline.

### Key Questions

The following three key questions were addressed:

- What is meant by dental instrumental functional analysis (InstrFA)?
- What are the objectives of using specific methods of InstrFA?
- What are the concrete benefits of using a given method of InstrFA in the dental diagnosis and treatment of patients?



Specific questions are also discussed in the individual chapters of this guideline.

## Methodology

This publication was designed as a consensus-based S2k guideline in accordance with the specifications of the AWMF. The participating professional groups did not receive any financial or other support from commercial interest groups for the preparation of this guideline. This guideline is to be updated in 2020. For details regarding the methodology and editorial independence of this guideline, see the guideline report.\*

## Preliminary Remarks

### General definition and classification of instrumental dental functional analysis

In the field of dentistry, the term *instrumental functional analysis* (InstrFA) refers to examination methods used to obtain a quantitative and/or qualitative assessment of the functional capacity of the craniomandibular system with the aid of special instruments and equipment. Such a functional analysis may focus on different aspects, especially:

- Kinematic aspects of the mandible – recording and analysis of mandibular movements (**instrumental movement analysis**) for articulator programming and/or for assessment of the functional capacity of the craniomandibular system
- Position of the condyles (**condylar position analysis**)
- Jaw relation (**horizontal jaw relation recording by central bearing point registration**), and
- Muscle activity of the jaw muscles during specific postures, positions and/or movements of the mandible or during complex tasks such as chewing (especially **electromyographic (EMG) activity of the masticatory muscles**).

Accordingly, this Guideline on Dental Instrumental Functional Analysis is divided into four parts:

Part 1: Instrumental Movement Analysis

Part 2: Condylar Position Analysis

Part 3: Jaw Relation Recording

Part 4: Surface Electromyography of the Masticatory Muscles – Dental Applications

\*[www.awmf.org/leitlinien/detail/II/083-017.html](http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/083-017.html)

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 Unterstützungen 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 (sogenannten 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<sup>27,85,116,119</sup>:

- Die instrumentelle Bewegungsanalyse erfasst die Bewegungsfunktion mit geeigneten Messsystemen auf kinematischer Grundlage. Im Fokus der Betrachtung stehen Unterkieferbewegungen mit zahngeführten und nicht zahngeführten 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. Mithilfe moderner Computertechnologie ist zunehmend auch die Darstellung und Analyse der Okklusalsituation in virtueller Simulation möglich<sup>114</sup>.

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 (sogenannte kinematische Oberflächen-Elektromyographie)<sup>97,113</sup>. Nachfolgende Ausführungen zur instrumentellen Bewegungsanalyse beziehen sich – wie oben erwähnt – ausschließlich auf rein kinematische Aspekte.

## Part 1: Instrumental Movement Analysis

### 1. Definition and Development

#### 1.1 Definition

Instrumental movement analysis is a dental examination method used to record and evaluate functional movements of the mandible in patients with the aid of special systems for the registration of jaw movement ("recording systems"). Based on the assessment criteria, the dentist then analyzes the jaw motion recordings, which may include different movement sequences as well as a comparative analysis of different mandibular positions, and draws conclusions therefrom. These conclusions are related to diagnostic assessment of the function and structure of the masticatory system on the one hand, and to the occlusal and dental restorative aspects of treatment planning, treatment design, and masticatory system rehabilitation on the other.

[12 votes in favor / 1 against / 1 abstention]

Instrumental movement analysis must be distinguished from instrumental occlusal analysis<sup>27,85,116,119</sup>:

- Instrumental movement analysis captures functional movement with appropriate kinematic-based measurement systems. It therefore focuses on jaw motion with tooth guided and unguided movement components.
- Instrumental occlusal analysis deals mainly with specific aspects of jaw positions and movements, namely, occlusal parameters in static and dynamic occlusion. Instrumental occlusal analysis is generally performed for this purpose using articulator-mounted study casts to visualize the occlusal situation. However, modern computer-assisted virtual articulators are increasingly used to visualize and analyze the occlusal situation by virtual simulation<sup>114</sup>.

These kinematic recordings can be combined with temporomandibular joint (TMJ) sound recordings (*vibration analysis*) or jaw muscle activity recordings, especially of the masseter muscle and anterior portion of the temporalis muscle (*kinematic surface electromyography*)<sup>97,113</sup>. As mentioned before, the following information on instrumental movement analysis refers exclusively to purely kinematic aspects of jaw motion.



## 1.2 Development

In the field of dentistry, efforts to record and document mandibular movement intensified at the beginning of the 20th century<sup>80,142,143</sup>. Groundbreaking research in this field is associated with names like GYSI, McCOLLUM & STUART, SCHRÖDER and GERBER, and was mainly carried out using mechanical recording systems. In addition to research-related aspects, these studies aimed to optimize the occlusal design of prosthodontic work to produce optimal dental restorations for the individual patient. Jaw motion recordings provide the patient-specific values needed to adjust the guiding elements of the articulator (*articulator programming*) for this purpose<sup>27,165,166</sup>. Since the 1970s, the recording of mandibular movements has become increasingly important for assessing the mobility and coordination of the mandible as well as the position and stability of the mandible at different starting positions relative to different excursive movement sequences<sup>42,97,124</sup>. Studies that examined the role of structural intra-articular changes in the temporomandibular joint (TMJ) in the development of functional disorders focused on this additional functional diagnostic aspect of mandibular movement recordings and used it as the basis for planning occlusal therapeutic interventions to treat these dysfunctions<sup>160</sup>.

Building on developments in the 1970s and 1980s, increasing efforts have been made to reduce the sometimes high time, equipment and labor requirements associated with the use of mechanical recording systems, and to develop electronic measurement systems capable of improving the quality and practicability of mandibular movement recordings while at the same time increasing the accuracy and ease of interpretation of the recordings. Electronic devices for use in dental applications that make it possible to record and analyze mandibular movements based on various measurement technologies have been available for many years<sup>18,38,113,118</sup>. These motion analysis systems specifically designed for dental applications are essentially similar to those used for movement- and postural-related functional diagnosis in other areas of the musculoskeletal system, such as gait analysis in the orthopedic-surgical context or instrumental analysis methods in rehabilitation medicine, occupational medicine, and sports medicine<sup>12,146,224</sup>.

In extraoral applications, the various practicable electronic measuring systems record mandibular movements by means of sensors positioned near the TMJ (near the condyles), near the incisors of the mandible, or near the occlusal plane, as needed. The following measuring system groups can be distinguished:

## 1.2 Entwicklung

Das Bestreben, Bewegungen des Unterkiefers aufzuzeichnen und zu dokumentieren, hat sich im zahnärztlichen Bereich zu Beginn des 20. Jahrhunderts intensiviert<sup>80,142,143</sup>. 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“)<sup>27,165,166</sup>. 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<sup>42,97,124</sup>. 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<sup>160</sup>.

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 mithilfe 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<sup>18,38,113,118</sup>. Diese speziell auf den zahnmedizinischen Bereich fokussierte Bewegungserfassung ist grundsätzlich vergleichbar mit Verfahren, die zur bewegungs- bzw. haltungsbezogenen Funktionsdiagnostik in anderen Bereichen des muskuloskeletalen Systems des Menschen zum Einsatz gelangen, beispielsweise mit der Ganganalyse im orthopädisch-chirurgischen Kontext oder mit instrumentellen Untersuchungsverfahren in der Rehabilitations-, Arbeits- und Sportmedizin<sup>12,146,224</sup>.

Bei extraoraler Applikation zeichnen die verschiedenen praxistauglichen elektronischen Messsysteme Unterkieferbewegungen mithilfe 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<sup>80,112</sup>.

## 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]

- Group 1: Systems measuring near the incisors of the mandible
- Group 2: Systems measuring near the TMJ (with contact between main parts of sensors)
- Group 3: Systems measuring near the TMJ (without contact between main parts of sensors)
- Group 4: Systems measuring near the occlusal plane (without contact between main parts of sensors).

By recording all six degrees of freedom, these systems are able to calculate any desired points on the mandible<sup>80,112</sup>.

## 2. Objectives

### 2.1 Main Aims of Instrumental Movement Analysis

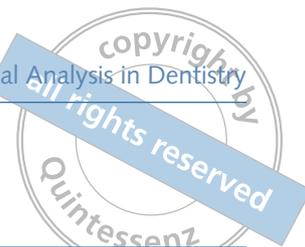
The aim of instrumental movement analysis of the mandible is to provide information regarding one or more of the following items:

- Individual patient-specific values with the aim of adjusting and optimizing dental and dental laboratory procedures to the specific functional characteristics of the individual patient (individual adjustment or programming of articulators and/or simulation of jaw movements).

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

- Clarification of dysfunctional movement-related findings in the context of function-oriented diagnostics (functional diagnostics). In the diagnostic process, instrumental movement analysis is performed as an additional procedure designed to provide additional information building on the clinical functional analysis that facilitates the establishment of a clinically based diagnosis (qualitative aspect). Furthermore, it allows for differential assessment of the extent and severity of functional impairment (quantitative aspect).

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]



- Evaluation and documentation of changes in movement-related parameters over time after the initiation of treatment measures in the context of functional therapy. In the therapeutic context, instrumental functional analysis of mandibular movement provides reference points for the improvement of functional processes and documents functional changes over the course of treatment.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

## 2.2 Specific Objectives

In view of the constantly evolving digital workflows in restorative dentistry, instrumental functional analysis can be regarded as an important supplementary technique for simulating the individual functional movements of the mandible to facilitate the occlusal design of dental restorations fabricated by the computer-assisted design and manufacturing (CAD/CAM) process<sup>114,116</sup>. The use of electronic systems for instrumental functional analysis makes it possible to generate individual patient-specific data for realistic simulation of tooth guided movements needed for the CAD/CAM manufacturing process<sup>84</sup>.

In the field of dental functional diagnostics, instrumental movement analysis is based on the clinical functional analysis<sup>37,113,118</sup>. The clinical functional analysis is the first step in evaluating the functional status of the masticatory system in patients with functional disorders of the masticatory system and should therefore precede instrumental movement analysis.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

In addition to documenting and evaluating the subjective symptoms reported by the patient (especially pain but also restricted range of motion and disturbing joint sounds), it is crucial for the dentist to document clinical signs to objectify the subjective. This is important for two reasons: First, this is fundamental to a diagnostic process that enables one to identify the correct clinical diagnosis. Second, it allows the dentist to compare and contrast the patient's subjective impressions with the objective findings, which provides important impulses (demonstration, motivation) at the patient-physician interaction level in the course of treatment. Instrumental movement analysis supplements and specifies the objective findings. In the case of mandibular movements, it allows for a differentiated assessment of functional status

- 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<sup>114,116</sup>. Der Einsatz elektronischer Verfahren im Rahmen der instrumentellen Bewegungsanalyse ermöglicht die für den genannten Herstellungsprozess erforderliche individuelle, patientenbezogene Datengenerierung zur realistischen Simulation zahngeführter Bewegungen<sup>84</sup>.

Im Bereich der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik baut die instrumentelle Bewegungsanalyse auf der klinischen Funktionsanalyse auf<sup>37,113,118</sup>. Die klinische Funktionsanalyse ist der erste Schritt zur Beurteilung des Funktionszustandes eines Patienten mit Funktionsstörungen des Kauystems 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 Beurteilung des Funktionszustandes in qualitativer und quantitativer Hinsicht<sup>117</sup>. 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<sup>7,81,84</sup>.

### 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 muskuloskeletale 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<sup>81</sup>.

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]

in qualitative and quantitative terms<sup>117</sup>. Thus, instrumental movement analysis is not an examination technique intended to *replace* and make clinical functional analysis and the diagnosis derived from it redundant, but rather is a method that specifically expands the examination of the masticatory system from the perspective of mandibular mobility (capacity, coordination, and occlusal centricity)<sup>7,81,84</sup>.

### Nomenclature and Terminology:

In addition, “dysfunction of the masticatory system”, “cranio-mandibular dysfunction (CMD)”, and “temporomandibular disorder (TMD)” are commonly used terms. These terms are not synonymous, however, and should not be understood as being synonymous for certain musculoskeletal disorders in the craniofacial region: CMD and TMD focus on different clinical aspects – dysfunction on the one hand and pain on the other – which are related but differ in terms of form and extent. In light of this, the term “myoarthropathy (MAP) of the masticatory system” should rather be classified as a TMD. One example of a possible interaction between dysfunction and pain is that, in patients with long-term pain, motor adaptation to pain may develop which may not be spontaneously reversible after the elimination of pain due to the occurrence of manifest changes at the structural level. Additionally, dysfunctional motor adaptation is to be expected in patients with certain functional impairments (e.g., tooth loss, tooth elongation, and tooth migration) that are considered relevant from a prosthetic-restorative perspective<sup>81</sup>.

Instrumental diagnostics and follow-up may be indicated in patients with impaired function (dysfunction). This also applies to biomechanical adjustment of the dentition of adults in the context of orthodontic and/or orthodontic-surgical treatment measures.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

Instrumental movement analysis is not a method of pain assessment and should not be used as such.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

Instrumental movement analysis is neither a method for the “objectification of pain” nor a method of pain treatment. Instead, instrumental movement analysis is used to assess the effects of orofacial pain on functional movement of the



jaw; moreover, it helps to clarify the relationship between the occurrence of pain on the one hand and functional capacity on the other hand at the diagnostic stage as well as at the treatment follow-up level<sup>200,201</sup>.

Instrumental movement analysis enables detailed identification and assessment of the extent of functional impairment for both the patient and the dentist in terms of motor capacity, coordination, and occlusal centricity.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

During the treatment phase (functional therapy), instrumental movement analysis can also be used as a feedback method to increase the involvement of the patient in the treatment process. Instrumental movement analysis can be used to visualize and monitor changes in functional capacity or functional efficiency; it is useful in clinical decision-making regarding issues concerning additional and/or supplementary measures in the scope of functional diagnostics and therapy or regarding the occlusal design in the scope of dental-restorative procedures<sup>81,153,186</sup>.

### 3. Clinical Utility

#### 3.1 Validity and Clinical Reliability of Electronic Axiography Systems

The currently available evidence based on data from appropriate studies regarding the validity and/or clinical reliability of electronic axiography systems for recording mandibular movement is presented below (see References: "Validity" and "Clinical Reliability" sections).

**Validity:** Based on the identified studies, it is determined that the maximum mean deviation of the hinge axis points calculated using electronic axiography systems is generally  $\leq 2$  mm. The mean deviation for distances is  $\leq 0.3$  to 0.5 mm, but hardware and/or software improvements for more optimal positioning and alignment of sensors and the use of correction algorithms will reduce the mean deviation

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<sup>200,201</sup>.

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. -tüchtigkeit 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<sup>81,153,186</sup>.

### 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 interindividueller 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 aufseiten 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 okklusale 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]

to  $\leq 0.1$  to  $0.2$  mm. The mean maximum deviation of the angle values (especially sagittal condylar inclination and Bennett angle values) is estimated at  $\leq 3$  to  $5$  degrees.

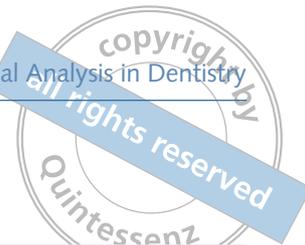
**Clinical reliability:** Basically every type of movement – regardless of whether related to incisal or condylar movement – exhibits natural biological fluctuations in terms of both intra- and inter-individual variability. Motion recordings made during a single appointment generally show better agreement than those made on different examination dates. As in all tests performed by humans, the level of instruction and training on the part of both the subject/patient and the examiner influence the degree of variation of the collected movement data. The current functional status of the masticatory system (normal function versus craniomandibular dysfunction of variable severity) also influences the reproducibility and/or range of variability of executed movements. Due to increased neuromuscular influences, opening and closing movements usually exhibit greater variability in movement patterns and greater variance in path length than tooth-guided and thus occlusally determined protrusive and lateral movements. Regarding condylar parameters, sagittal condylar path inclination values show greater intra- and inter-session agreement than Bennett angle values.

Individual movement sequences should be recorded multiple times in order to distinguish random effects from fixed effects.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

All in all, if acquired in consideration of system- and examination-related effects and with knowledge of physiological processes, motion recordings of the mandible, together with the patient history and clinical findings, are a sufficiently reliable basis for drawing diagnostic and therapeutic conclusions.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]



### 3.2 Criteria for the Evaluation of Mandibular Movement Recordings

Analyses of the functional movement of the mandible should be based on the criteria specified in the DGFDT Consensus Paper (summarized in a criteria matrix).\*

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

Instrumental movement analysis can be used to collect the following data for the *adjustment of an articulator or the programming of a motion simulator* (dynamic function parameters):

- Sagittal condylar path inclination angle (angle of protrusive excursions)
- Bennett angle
- Immediate side shift
- Sagittal and frontal anterior guidance angle.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

The following additional aspects of jaw movement function can be evaluated by instrumental movement analysis – assuming the use of appropriate measurement systems and standardized examination protocols:

- **Movement capacity**, to determine the extent of maximum movement capacity in terms of so-called neuromuscular border movements
- **Coordination** of the sequence of movements at a given measurement site and relationship between the right and left side of the mandible
- **Occlusal stability and joint-related centricity** to determine the reproducibility of the starting or reference position of the mandible.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

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

Die Analyse der Bewegungsfunktion des Unterkiefers soll entsprechend der Kriterien des Konsensuspapers der DGFDT\* erfolgen (zusammengefasst in einer Kriterienmatrix).

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Mithilfe 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
- Immediate side shift
- sagittale und frontale Frontführungswinkel.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

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

- **Bewegungskapazität** zur Erfassung des Ausmaßes maximaler Bewegungsmöglichkeiten im Sinne der sogenannten 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]

\* "Expert statement for developing diagnostic criteria for dysfunction: Functional movement of the mandible – concept for structuring criteria for analysis and for standardizing computer-assisted recordings" (Consensus Workshop of the Working Group for Masticatory Function and Oral Physiology on 16 November 2012 at the 45th Annual Meeting of the DGFDT in Bad Homburg, Germany)<sup>81</sup>.

\* „Stellungnahme im Rahmen der Erarbeitung von diagnostischen Kriterien für Dysfunktion: Die Bewegungsfunktion des Unterkiefers: Konzept zur Strukturierung von Analysekrterien 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)<sup>81</sup>

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 Inzisalbahnen<sup>81</sup>.

Darüber hinaus erlaubt die Auswertung gelenknaher Bewegungsaufzeichnungen (sogenannter Kondylenbahnen, die vornehmlich Öffnungs-/Schließbewegungen bzw. Vorschubbewegungen berücksichtigen) diagnostische strukturbezogene Rückschlüsse auf die intraartikuläre Situation, insbesondere zur Diskus-Kondylus-Beziehung<sup>16,17,80,112,160</sup>.

### 3.3 Strukturbezogenes 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 strukturbezogenes diagnostisches Potenzial von Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen).

Im Gegensatz zu *kondylären* Bahnsuren 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, sodass besonders bei diesem Kriterium die Gefahr einer hohen Zahl falsch positiver Befunde besteht<sup>135</sup>. Durch gezielte Zusammenfassung inzisaler und kondylärer Parameter verbessert sich die diagnostische Zuverlässigkeit<sup>117</sup>.

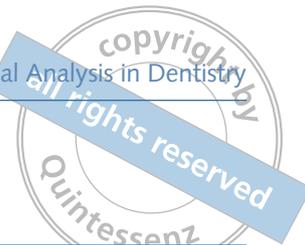
Recordings of mandibular movement during mastication (*kinematic chewing function analysis*, sometimes in combination with electromyography) can also be used to provide data on specific parameters for characterization of masticatory function – taking into account the special conditions required for this (standardization of the bolus, etc) – including: chewing frequency, duration of the chewing sequence, number of chewing cycles, duration of chewing cycles, and cumulative incisal path length<sup>81</sup>.

In addition, the analysis of movements recorded near the TMJ (so-called condylar paths, which mainly refer to opening and closing movements and/or protrusive movements) allows diagnostic structure-related conclusions about the intra-articular situation, particularly the disk-condyle relationship<sup>16,17,80,112,160</sup>.

### 3.3 Structure-related Diagnostic Potential of Mandibular Movement Recordings

*Condylar* movement recordings have a higher specificity than sensitivity. True negative results for internal derangement of the TMJ are detected at a higher percentage than true positive results. In other words, the probability of a false-positive result is significantly lower than that of a false-negative result. In addition, the range of sensitivity values is considerably larger than that for specificity. If the sensitivity and specificity values for diagnostic accuracy are combined (quotient of the number of true positive and true negative results divided by the total number of results), the average values fall in the range of around 0.7 to 0.8 (see References: section on “Structure-related diagnostic potential of mandibular movement recordings”).

Unlike *condylar* path traces, *incisal* path-based findings of deviation and deflection generally exhibit low to moderate sensitivity, specificity, and accuracy. Likewise, incisal movement-based findings of sudden velocity changes show high sensitivity in combination with very low specificity, resulting in the risk of a high number of false-positive results, especially with this criterion<sup>135</sup>. Diagnostic reliability can be improved by selectively combining incisal and condylar parameters<sup>117</sup>.



The diagnosis of joint disorders based on *incisal* movement abnormalities is associated with a higher risk of misdiagnosis than a diagnosis based on *condylar* path findings and, therefore, should not be performed in clinical practice.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

Based on *condylar* movement recordings, one can – with restrictions – draw conclusions about intra-articular conditions, especially regarding the condyle-disc relationship and, to a limited degree, articular structural conditions. The limitations are related to the fact that conclusions drawn from condylar movement findings are subject to uncertainty and to a higher probability of false-negative than false-positive results because sensitivity is lower than specificity.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

Due to its low sensitivity, instrumental movement analysis is not suitable for screening of intra-articular disorders.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

### 3.4 Benefits to the Patient / Therapeutic Consequences of Movement Recordings

Individual values for parameters of dynamic function (see above) gathered from recordings of mandibular movement, especially protrusive and lateral movement, are required **to adjust the articulator or program the motion simulator** for planning and optimization of dental procedures and dental laboratory processes based on the individual functional characteristics of the patient. The purpose of transferring the patient's individual values to the articulator or motion simulator is to make the movements simulated by the device (articulator/motion simulator) match the actual movements of the patient as closely as possible. Among other things, the aim is to ensure that restorations completed by the dental laboratory can be placed in the patient's mouth without the need for extensive correction of occlusal errors. When the occlusal surfaces of the work from the dental laboratory are optimally tailored to actual functional conditions and biomechanical requirements of the individual situation, the patient can more easily adjust to the restoration<sup>7,81</sup>.

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 die 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<sup>7,81</sup>.

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 (Auf-listung nicht abschließend)<sup>7,81,115</sup>:

- 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.

In **dental functional therapy**, diagnostic conclusions are mainly drawn from the findings described below. While this can, in principle, be determined based on the clinical functional analysis with or without a manual structural analysis, as needed, instrumental analysis of mandibular movement allows for not only a differentiated assessment (impairment at the condylar versus incisal level), but also a more detailed and precise (in terms of extent/severity and time of onset) and, last but not least, metric analysis<sup>7,81,115</sup>; the list below is not exhaustive:

- Impaired jaw movement capacity (limitation)
- Significantly elevated mobility values (hypermobility)
- Conspicuously altered or impaired coordination of mandibular movement (side-to-side comparison during opening and closing movements and lateral excursions )
- Lack of occlusal and/or condylar centricity.



## Part 2: Condylar Position Analysis

### 1. Definition and Development

#### 1.1 Definition

Condylar position analysis (CPA) is a method for three-dimensional comparative analysis of condylar position relative to defined positions of the mandible.

Three methods can be distinguished:

- Condylar position analysis using tomographic imaging techniques
- Indirect method of condylar position analysis using a stationary mechanical and/or electronic measuring device and mounted models
- Direct method of condylar position analysis on the patient (generally performed using electronic measurement systems today).

In dentate patients, the aim of condylar position analysis is to demonstrate discrepancies between manually guided jaw relation records influenced by the dentist and posterior-cranially, cranially, and/or cranial-anteriorly limited mandibular positions – not influenced by tooth position on the one hand – and condylar position at maximal intercuspal position on the other. This allows the dentist to determine the physiological range of variations of condylar positions and to consider which mandibular positions might be suitable starting points for dental restorations.

#### 1.2 Development

The principle of condylar position analysis was first described by Thielemann<sup>197</sup> in 1939, by Posselt in 1957<sup>156,157</sup>, and by other investigators in the years that followed<sup>47,129,132,178,187</sup>. In the early systems, condylar positions were visualized indirectly using modified articulator-like devices with mechanical gauges positioned in the area of the joints. Today, computer-assisted electronic condylar position measuring instruments can be used to perform the corresponding distance measurements either indirectly on the articulator or directly on the patient<sup>10,221</sup>.

Condylar position analysis was and is still used in research for descriptive analysis of variances between different mandibular movement recording systems in terms of reproducibility and condylar positioning. Historically, this mainly focused on the posterior border of the condyles (condylar retruded

## 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 werden unterschieden:

- 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<sup>197</sup> und 1957 von Posselt<sup>156,157</sup> sowie nachfolgend von anderen beschrieben<sup>47,129,132,178,187</sup>. 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<sup>10,221</sup>.

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 Kontakt-position) und gilt heute immer noch für die zentrische Kondylenposition<sup>8,217</sup>. 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.

contact position), which still applies today for centric condylar position (centric relation)<sup>8,217</sup>. Another aim was to identify the cause of functionally related complaints based on significant condylar deviation from the norm. Against this background, one of the goals of condylar position analysis was to identify or at least narrow down “physiological” (“correct”) or “pathological” positions of the mandible.

In clinical practice, the method is still used for qualitative and quantitative evaluation of the reproducibility of recordings (especially of centric condylar position) and comparison with the position of the mandible determined by the teeth. In the course of treatment, it is also used to determine spatial changes in mandibular/condylar position over time. In connection with or in light of the findings from other studies (clinical functional analysis alone or in combination with manual structural analysis or other methods described in other parts of this guideline, as required), this allows the clinician to assess the situation and adjust treatment, as needed.

## 2. Objectives

Important considerations for describing the positions of the condyles in connection with evaluation of the position of the mandible relative to the skull: In patients with a full dentition, the maximal intercuspital (MI) position or habitual occlusion determines the position of the condyles in the fossae during a closed jaw (in some cases, in combination with arthrogenic and muscular factors in dysfunction patients).

Knowledge about the condylar position in this area and the magnitude and direction of deviation from border positions of the condyles in the joint space is important for various reasons. First, it plays a role in determining the presence and extent of divergence from the normal range. Second, this knowledge is needed to evaluate and describe the therapeutic position of the mandible. Moreover, condylar position analysis enables the detection of changes in mandibular position in the course of treatment.

The position of the condyles relative to the discs and fossae cannot be accurately determined by purely clinical methods.



The reason is that direct visualization of the condyles is not possible because they are embedded in and covered by adjacent tissues. The position of the condyles relative to the neighboring tissues can only be determined indirectly by means of imaging techniques such as lateral cephalometric radiography, transcranial radiography, computed tomography (CT), cone beam computed tomography (CBCT), high-frequency ultrasound (HFUS), and magnetic resonance imaging (MRI). Another approach is to attempt a direct comparative analysis of the change in position of the condyles using measuring devices attached to the patient in order to draw conclusions about the positions of the condyles and make an assessment.

Alternatively, when using indirect methods with stationary measuring instruments, position changes of the articulator condyles can be examined in combination with mechanical or electronic measuring systems independently of the patient (after making the necessary models and photographs).

The results of condylar position analysis consist of comparative, relative metric statements about spatial distances (differential measurement).

### 3. Methods of Describing Condylar Positions and their Assessment

A common feature of all condylar position analyses is that a reference position, the relative deviation from which can be determined or measured, must first be defined.

- In dentate patients, the condylar position at maximal intercuspal position (determined by the hard tooth structure) and the centric condylar position (defined as the tissue border) generally serve as the reference positions<sup>8,213</sup>.
- In edentulous patients, the natural maximal intercuspal position is lacking but an acceptably reproducible centric condylar position can be found. In toothless patients, this means that the maximal intercuspal position that was originally present cannot be located again: it is lost<sup>208</sup>.

Centric relation has been interpreted differently time after time over the years<sup>1-4,196</sup>. This is due to the fact that it is only possible to visualize the condyle positions indirectly. Consequently, the definition of fundamental clinically and

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, transkranielle Röntgen-Schädelaufnahme, Computertomogramm, digitales Volumentomogramm, 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)<sup>8,213</sup>.
- 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<sup>208</sup>.

Die zentrische Kondylenposition wurde im Laufe der Jahre immer wieder unterschiedlich interpretiert<sup>1-4,196</sup>.

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<sup>11,20,53,55,70,85,92,94,105,130,131,140,161,203,204,228</sup>.

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]

practically meaningful reference positions is to this day limited to theoretical considerations and descriptions.

### 3.1 Condylar Position Measurement by Analysis of Imaging Examination Methods

Conventional radiographic techniques are unsuitable for exact determination of condylar position.

Magnetic resonance imaging (MRI) allows for three-dimensional assessment of condylar position, but the accuracy of MRI-based position measurement is, to say the least, limited because the image resolution of the method is such that MRI *alone* sometimes does not suffice to determine the exact position of the condyles. Second, the mandible must be held still in the same position for a long time, and two different imaging sessions are sometimes needed for the analysis.

Moreover, standardized reference point specifications are lacking. These limitations result in high standard deviations<sup>11,20,53,55,70,85,92,94,105,130,131,140,161,203,204,228</sup>.

If the *sole* objective is to evaluate the position of the *condyles*, imaging techniques should only be used in clinical research.

Based on the available evidence, it is concluded that, in clinical practice, imaging techniques, particularly those involving the use of ionizing radiation, should not be used to determine the position of the mandibular condyles *instead* of direct or indirect techniques of dental condylar position analysis.

However, if magnetic resonance imaging (MRI) already has to be performed, for example, in the scope of assessments for functional diagnostics and therapy, then MRI can be used in the scope of the examination to visualize the mandibular/condylar positions before and after the insertion of occlusal rims or splints for "bite fixation".

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]



### 3.2 Indirect Condylar Position Measurement using Articulators or Stationary Condylar Position Measurement Instruments

Studies on the reproducibility of condylar position measurements made using commercial stationary measuring systems are available<sup>221</sup>. However, there are too few studies on the important issue of agreement between measurements obtained on the patient versus the articulator or stationary condylar position measuring instrument.

#### *Indirect measurement of the reproducibility and stability of centric condylar position/centric relation (CCP/CR) in the condylar area*

Condylar position analysis using either an articulator with the necessary range of functions or a stationary condylar position measurement instrument is an appropriate method for obtaining an estimate of differences in centric condylar positions based on multiple measurements.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

The results of most, if not all, studies show that the spatial reproducibility of recordings in the condylar region is about 0.3 mm on average<sup>11,21,26,40,47,68,69,77,105,125,127,133,134,139,162-164,172,174,182,183,185,187,192,199,209,212,217,225</sup>. Significantly higher accuracy is not to be expected because centric relation is not bordered by hard tissue (see above).

#### *Indirect measurement of the reproducibility of maximal intercuspal position in the condylar region*

The reproducibility of maximal intercuspal (MI) position has not been studied very often to date. The available studies indicated that the repeatability is approximately 0.1 to 0.2 mm<sup>22,218,221</sup>.

In addition to articulator-based indirect electronic measurements or patient-based direct measurements with head/mandible-related registration bows, recently developed digital vestibular intraoral scanning systems can now be used to clarify this question. Virtual models provide the basis for these methods. The accuracy of the methodology "per se" is very high (about 50  $\mu\text{m}$ <sup>98</sup>). Since, currently, only partial-jaw scans can be made with acceptable accuracy, full-jaw scans

### 3.2 Indirekte Messung kondylärer Positionen mithilfe von Artikulatoren oder stationärer Kondylenpositions-Messinstrumente

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

#### *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<sup>11,21,26,40,47,68,69,77,105,125,127,133,134,139,162-164,172,174,182,183,185,187,192,199,209,212,217,225</sup>. 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<sup>22,218,221</sup>.

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  $\mu\text{m}$ <sup>98</sup>). 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)<sup>22,67,91,158,176,218,221</sup>.

### *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<sup>5,6,9,11,19,21-23,26,29-32,34,44,46,56,64,73,74,76,121,123,127,128,163,167-170,184,195,199,205,212,219,226,229,230</sup>.

### *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<sup>15,19,21,127,192,193,199,212-214,221</sup>. 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

must be made by combining partial-jaw scans. However, the overall accuracy of this method is still unsatisfactory at this time. Furthermore, it should not be overlooked that the indirect methods for the fabrication of tooth replacements involve different intermediate steps, which invariably have much lower limits of reproducibility (spatial reproducibility of about 0.1 to 0.2 mm in the condylar region)<sup>22,67,91,158,176,218,221</sup>.

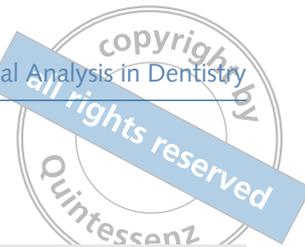
### *Indirect measurement of deviations between CR and CO (centric occlusion)*

Articulator-based condylar position analysis is a method by which multiple measurement values can be determined and averaged to obtain an estimate of differences in centric condylar positions and maximal intercuspal position between individuals in a sample of a population. The distances in the condylar region range from 0.2 to 0.8 mm, depending on the study results, but approximately 10% of the population showed no measurable or statistically significant differences between these border positions<sup>5,6,9,11,19,21-23,26,29-32,34,44,46,56,64,73,74,76,121,123,127,128,163,167-170,184,195,199,205,212,219,226,229,230</sup>.

### *3.3 Direct Measurement of Condylar Position on the Patient*

It can be assumed that the accuracy of direct electronic measurements obtained using head/mandible-related registration bows attached to the patient is slightly higher than that of indirect measurements obtained via several intermediate steps using study casts mounted on an articulator. Moreover, direct electronic measurement systems offer additional possibilities for interpretation because they can detect immediate effects that only occur during occlusal contact.

However, unintentional changes in the position of the recording bow may occur due to changes in instrument position, head movement or muscle movement. This can lower the expected reproducibility of this method<sup>15,19,21,127,192,193,199,212-214,221</sup>. Moreover, it should not be forgotten that, even today, an articulator is generally needed for the analysis of occlusal relationships and/or for the fabrication of occlusal splints. Therefore, when using the direct method of condylar position measurement on the patient, this means that the



same models and records as those required for the indirect method using a stationary measuring instrument are still required to transfer the measured changes in position (e.g., in centric jaw relation) in the articulator in a dimensionally accurate manner.

#### 4. Clinical Utility

For individuals with tooth support in four quadrants, condylar position analysis offers the following possibilities:

1. Quantitative and qualitative analysis of deviations in individual condylar reference positions relative to each other (usually condylar positions in centric relation and in maximal intercuspal position)
2. Reproducibility assessment of maximal intercuspal position in multiple measurements
3. Reproducibility assessment of a determined centric condylar position/centric relation in multiple measurements
4. Detection of the direction and extent of displacement of reference positions relative to each other
5. Reproducibility assessment when determining condylar position using different recording methods and materials
6. Condylar position monitoring over the course of treatment.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

Condylar position analysis (CPA) also plays an important role in research. CPA can be used, among other things, to study the “distribution” of condylar positions in populations of sufficient size in order to develop and/or confirm the validity of clinical treatment concepts.

The available studies show that the method of condylar position analysis generally meets the validity and reliability requirements. However, the diagnostic value of condylar position analysis is dependent on the validity and reproducibility of determination of the respective condylar positions. In addition, all recordings and measurements should be repeated multiple times.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

Due to the fact that the mechanics of the occluding dental arches determine the position of the condyles<sup>26</sup>, *maximal intercuspal position* can be determined more accurately than

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 Bezahnung 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<sup>26</sup>, die *maximale Interkuspitation* lässt sich daher sowohl am Patienten<sup>98</sup> als auch an Modellen im Artikulator genauer einstellen als die zentrische Kondylenposition<sup>217,218</sup>.

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<sup>192,193,202</sup>. 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 kondylennahen 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]

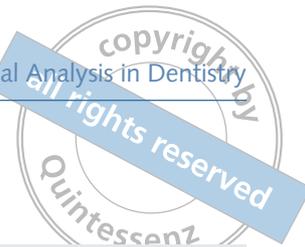
centric relation on the patient<sup>98</sup> as well as on models mounted on an articulator<sup>217,218</sup>.

Therefore, when *centric relation* is determined as one of the reference positions in a joint with “degrees of freedom”, the accuracy will be lower: in the best case, about 0.2 mm for direct measurements on the patient, and approximately 0.3 mm for indirect measurements on the articulator<sup>192,193,202</sup>. Since all of the methods are subject to this magnitude of error, the interpretability of analytical results smaller than ca. 0.5 mm is limited, even if obtained using a very precise approach.

Generally, without appropriate imaging verification, it cannot be precisely determined in the individual case which specific anatomical structures near the condyles the right and left posterior reference points used in the condylar position analysis refer to. Without this detailed knowledge, statements regarding supposed “displacement of the condyles” or “compression phenomena in the hinge region” (given as examples here) are speculative and, at most, should only be formulated in terms of a suspicion.

Moreover, interpretation of the findings of condylar position analysis requires knowledge of the patient's specific medical history, clinical findings, and condylar movement recording. Condylar position analysis *alone* can only provide clues to interpretation of the clinical situation. Invasive dental restorative treatments, orthodontic treatment, and orthognathic surgery cannot be justified based on measured differences in condylar position *alone*.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]



## Part 3: Jaw Relation Recording: Horizontal Jaw Relation Recording by Central Bearing Point Registration

The subject of jaw relation recording has already been explained and discussed in detail in an earlier and still current guideline entitled “Scientific Communications of the German Society for Prosthetic Dentistry and Biomaterials (DGPro, formerly DGZPW): Jaw Relation Recording”<sup>219</sup>. In accordance with the scope of this guideline, only the subject of central bearing point registration will be taken up again in detail here, because the important role of electronic recording systems in this context is causing increasing uncertainty among colleagues.

### 1. Definition and Development

#### 1.1 Definition

Central bearing point (CBP) registration is a method of recording maxillomandibular relationships in which recordings of the horizontal jaw relation are made by registration of the apex of the gothic arch; this method is also referred to as: “arrow point” registration, gothic arch tracing, needle point tracing, the graphic method, and McGrane full denture procedure<sup>138</sup>. First, central bearing tracing devices for the maxilla and mandible are fabricated in the dental laboratory and then placed at the level of the occlusal plane and *between* the dental arches. In dentate patients, they are bonded to the rows of teeth with acrylic. The maxillary tracing device (in most cases) consists of a vertically mounted central bearing point (CBP), which protrudes slightly above the occlusal plane and is attached approximately at the level between the second premolars and the first molars, on the midline of the patient’s palate (i.e., at the “center of occlusal force”). On the lower arch, a metal plate is mounted to the appropriate segments of the dentition at the level of the occlusal plane and transversely, between the dental arches, thus displacing the tongue. Once the central bearing tracing device is in place, the height of the central bearing point can be adjusted such that, on jaw closure and in centric relation, there is only one “interocclusal” contact point between the CBP and the tracing device of the mandible, and the occlusal surfaces of the teeth of the maxilla and mandible are discluded—albeit only minimally<sup>50,52</sup>. Thus, there is only one intraoral contact with the opposing dentition via the central bearing point on jaw closure.

If the tracing device opposite to the CBP is coated with a layer of marking material, the paths of horizontal border

## 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<sup>219</sup>. 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<sup>138</sup>). 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 Okklusalfächen der Zahnreihen selbst jedoch - möglichst minimal - diskludiert sind<sup>50,52</sup>. 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“<sup>138</sup>). 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 Registrieremethode für die Herstellung von Totalprothesen beschrieben<sup>57-61</sup>. 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<sup>150</sup>. 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<sup>35,62,76,78,103,155,188,208,232</sup>.

Es ist das Verdienst von Phillips<sup>152</sup>, 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<sup>51</sup>, aber auch für die

movements can be easily traced by the screw without further interocclusal contact. Repeated right and left lateral excursions of the jaw result in the appearance of a “gothic arch tracing” on the lower device. The apex of the gothic arch, which corresponds to a retruded position of function<sup>138</sup>, is located at the site where the two lateral movements meet in the median plane. This position of the central bearing point on the device is a well-reproducible posterior border position of the mandible. In this method, this position is defined as condylar position in centric relation (“centric condylar position”).

If not only lateral posterior but also anterior and protrusive-lateral border movements are traced during contact with the central bearing point, a diamond-shaped pattern appears on the tracing device. This pattern is equivalent to an individual horizontal cross-section of Posselt's diagram. However, as such a complete recording of lateral and protrusive movements usually requires considerable vertical opening (to avoid intercuspal contacts), it is only of didactic interest in dentate patients.

In principle, no conclusions regarding the three-dimensional position of the condyles can be drawn from central bearing point tracings because such recordings only capture two degrees of freedom of mandibular movement.

## 1.2 Development

Central bearing point registration was first described by Gysi as an extraoral registration method for the fabrication of complete dentures<sup>57-61</sup>. It was used by Gysi as a method for restoring horizontal jaw relationships in edentulous patients with full maxillary and mandibular dentures. Gysi was apparently of the opinion that the apex of the intraoral tracing corresponds to the patient's former maximal intercuspal position<sup>150</sup>. Over the course of time, however, investigators eventually realized that both maximal intercuspal position and the neuromuscular position by tapping deviate by different distances from the apex of the gothic arch tracing<sup>35,62,76,78,103,155,188,208,232</sup>.

Phillips<sup>152</sup> is credited with first describing and introducing the method as the intraoral tracing technique for full denture fabrication as it is essentially still used today. According to Gerber, the method is particularly well suited for the fabrication of complete dentures<sup>51</sup>, but is also useful for the



treatment of patients with craniomandibular dysfunctions<sup>50</sup>. From its inception, the aim of central bearing point registration has been to insert dental prostheses (formerly only complete dentures but now also occlusal splints) in a mandibular position that is "physiological" and "easy to adapt to" in patients in need of extensive oral rehabilitation. Gerber, for example, considered horizontal jaw relation defined with manual guidance of the mandible to be "non-physiological"<sup>63,180</sup>. He was of the opinion that the TMJ, like other joints, requires certain degrees of freedom and that, due to the nature of the manual guidance involved, check bite-registration "forced" the mandible into a posterior retruded position. This view was contrary to that of the "gnathologists", who believed that placement of the mandible by means of check bite registration and firm guidance was "more appropriate" for this purpose<sup>122</sup>. These discussions and developments are reflected in the changes in the definition of condylar position in centric relation (centric condylar position) over time, which has been revised from the "most posterior" to the "most anterior-superior" position of the condyles in their fossae<sup>1-4,138,196</sup>. There was general consensus that "joints do not function in border positions". It was assumed that central bearing point registration would result in a less extreme posterior border position of the mandible<sup>1,150</sup>.

However, valid clinical studies or follow-up studies capable of confirming these assumptions are still lacking.

## 2. Objectives

When used to define the relationship of the mandible to the maxilla, the primary goal of central bearing point registration is to determine a physiological starting point, e.g., for occlusal analysis of models on the articulator or for the fabrication of occlusal splints or dentures. If other specially designed tracing devices are not used<sup>177</sup>, this method does not permit the registration of maximal intercuspal position, even in fully dentate subjects. This is because central bearing devices are not secured para-occlusally and do not allow for even the natural dentition to be positioned in maximal intercuspal position. Neuromuscular position by tapping is not suitable for this purpose in any case (contrary to the previous belief that this neuromuscular registration method represents maximal intercuspal position). In dentate subjects, recording of the neuromuscular position by tapping results in a very individually and irregularly shaped and sized *field*, which is

Behandlung von Patienten mit craniomandibulären Dysfunktionen für geeignet<sup>50</sup>. 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<sup>63,180</sup> 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<sup>122</sup>. 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<sup>1-4,138,196</sup>. 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<sup>1,150</sup>.

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<sup>177</sup>, 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<sup>41,65,104,109,136,181,189,232</sup>. Zur Aufzeichnung ist i. d. R. eine Erhöhung der vertikalen Relation über die Ruhelage hinaus erforderlich<sup>209,232</sup>. 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<sup>206-208</sup>.

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<sup>13,14</sup>. 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<sup>24,194</sup>. Den Autoren ging es daher primär nicht um die Registrierung der zentralen 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.

not a precise point<sup>41,65,104,109,136,181,189,232</sup>. For such recordings, it is usually necessary to increase the vertical dimension of occlusion above rest position<sup>209,232</sup>. The size and shape of the neuromuscular position by tapping recorded with a central bearing device depends, among other things, on displacement of the tongue and any effects that this might have on jaw-closing movements: Under these conditions, the definition of a relaxed neuromuscular position seems to be an impossible undertaking from the start.

In patients with complete dentures, maximal intercuspation position also cannot be determined by central bearing point registration of the neuromuscular position by tapping; firstly, because the natural dentition is lacking and, secondly, because other reflex patterns for assuming mandibular position develop over time<sup>206-208</sup>.

The only alternative in both dentate and edentulous patients is thus to define the exact position of the mandible on or in a defined position relative to the recorded apex of the gothic arch tracing. Thus, it is only possible to obtain “average value” maximal intercuspation position at best in this group of patients when one determines the position of the mandible, e.g., “0.5 mm posterior to the apex of the intraoral tracing”. However, as will be shown below, this is neither effective nor necessary.

In addition to horizontal jaw relations, central bearing point registration also allows for the quite precise determination of protrusive positions of the mandible, which can be used, for example, to individualize the sagittal condylar path inclination values on an articulator<sup>13,14</sup>. However, because of the complexity of this method, its use is mainly limited to theoretical research.

Swanson<sup>194</sup> and Wipf<sup>24</sup> modified the intraoral central bearing point technique to yield a “stereographic” tracing method for a completely different purpose: via movements and CBP guidance, they used three-dimensional paths of motion engraved on acrylic trays in the patient's mouth to form spherical condylar guidances on the articulator. The device of these authors was not primarily designed for registration of centric relation, but rather for the programming of their invention, the fully individual TMJ Articulator. The aim was to transfer the recorded three-dimensional movements of the patient's mandible to the articulator in order to fabricate dentures that would not require any major occlusal adjustments. In addition to the basic limitation that the presence of physiological conditions in the masticatory system is a prerequisite for registration, this method – which is well-conceived in theory – has not become widely accepted because of its complexity and susceptibility to error.



In summary, the primary goal of a central bearing point registration therefore is usually to determine the horizontal jaw relation for treatment planning or treating purposes.

### *Questions Regarding Central Bearing Point Registration*

1. In what manner does the position of the central bearing point in the sagittal or transverse plane influence the results of the registration?
2. What effect does the force exerted during recording or encryption have on the results of the registration?
3. How does the conventional method differ from the new computer-assisted methods in terms of reproducibility and positioning of the condyles?
4. How do the results of manually guided horizontal jaw relation recording (the so-called check bite method) differ from those of central bearing point registration (in terms of condylar position and masticatory muscle activity)?
5. In which cases should central bearing point registration be used?
6. Which practical approach has proven successful?

### *Problems Posed*

Since assessment of the question of whether condylar positions determined by central bearing point registration are "more correct" or "more appropriate" than those obtained with other methods is subject to exactly the same problems discussed in Part 2 of this guideline, this discussion will not be repeated here (see section on "Condylar Position Analysis").

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 und 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<sup>65,66,93,95,96,100,101,107,120,125-127,133,145,147,148,149,159,171,223,227,231</sup>:

- 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<sup>219</sup>.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

### 3. Effects of Recording Conditions Reproducibility, Differences between Methods, Diagnostics, and Practical Tips

#### 3.1 Factors Influencing Central Bearing Point Registration

The following factors influence and can alter the results of central bearing point registration, i.e., condylar position and thus the position of the mandible<sup>65,66,93,95,96,100,101,107,120,125-127,133,145,147,148,149,159,171,223,227,231</sup>:

- Force exerted during recording or encryption
- Setting time of the encryption material, angle of the tracing device (plate) relative to the occlusal plane
- Restriction of the tongue space
- Position of the central bearing point on the tracing device
- Guidance of the mandible.

The position of the central bearing point on the lower tracing device has a tremendous effect on the quality of the registration, especially in edentulous patients.

The purpose of central bearing point registration is to evenly distribute closing forces on the maxillary and mandibular occlusal rims / transfer bases or dentures in centric relation so that only minimal movement of the prostheses occurs on slight jaw closure, and subsequently increasing closing force in the maxilla and mandible: Forces on the teguments should be evenly distributed and no dislocation of either denture should occur.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

If such dislocation of the prostheses should occur during horizontal jaw relation recording, this dislocation will also be observed in the finished dentures each time the jaw closes. The use of the central bearing point technique is contraindicated in cases where there are substantial differences in the locations of the center of the supporting areas of the maxilla and mandible jaws in the sagittal direction or in the presence of pronounced differences in resilience (flabby ridges) or jaw defects. Manually guided horizontal jaw relation recording should be performed instead in these situations<sup>219</sup>.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]



Registration of the apex of the gothic arch tracing can also be performed with computerized systems in modern dentistry<sup>222</sup>. Closing force values can be measured during such computer-aided recordings. The ability to display an enlarged view of the central bearing point on the monitor while the recording is in progress so that the patient can visualize the process (feedback) has the additional advantage of the possibility to measure and control the jaw closing force exerted during registration or, in some cases, even during encryption. The jaw closing force needed to make such recordings ranges from 10 N to 30 N in many electronic recording systems. In the conventional method (without electronic control), the closing forces during recording are lower – typically less than 10 N<sup>96</sup>. Forces greater than 5 N are said to have negative effects<sup>100,101,126,227</sup>.

There are no studies available on the question of what level of jaw closing force should or may be exerted during recording or encryption. Similarly, there is no scientific evidence confirming the position of the mandible calculated for transfer to the articulator by some systems and deviating from the apex of the gothic arch tracing and maximal intercuspal position<sup>33,99,125,127,232</sup>. Evidence regarding the extent to which the amount of jaw closing force or the extent of deviation of the position of the mandible from the apex of the gothic arch tracing is related to later patient acceptance of dentures is also lacking.

### 3.2 Reproducibility

The reproducibility of central bearing point registration has been investigated in many studies in both dentate patients and in full denture wearers either two-dimensionally, at the level of the occlusal plane<sup>25,28,54,65,66,75,79,93,102,106,137,145,188,232</sup>, or three-dimensionally, directly or indirectly, in the condylar region, with additional instruments<sup>11,90,110,125,133,134,173,190,191,206,207,209,211,216,217</sup>. The reproducibility of the conventional and computer-assisted systems is not statistically different<sup>99,232</sup> because both methods are based on the same underlying principle. The reproducibility of central bearing point registration is superior to that of manually guided horizontal jaw relation recording (average of 0.5 mm versus 0.7 mm in condylar region) only in *complete denture wearers*<sup>211,216,220</sup>. In *dentate* patients, recent studies show that the central bearing point method has an accuracy of about 0.3 mm on average<sup>209,217</sup>. The precision of placement of the plastic disk on the tracing device is included in these values.

Die Aufzeichnung des Pfeilwinkels lässt sich heute computergestützt durchführen<sup>222</sup>. 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, wie 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<sup>96</sup>; Kräfte über 5 N sollen negative Einflüsse ausüben<sup>100,101,126,227</sup>.

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<sup>33,99,125,127,232</sup>. 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<sup>25,28,54,65,66,75,79,93,102,106,137,145,188,232</sup>, andererseits mit zusätzlichen Hilfsmitteln direkt oder indirekt dreidimensional im Kondylarbereich gemessen<sup>11,90,110,125,133,134,173,190,191,206,207,209,211,216,217</sup>. Die Reproduzierbarkeit zwischen den klassischen und den computergestützten Systemen unterscheidet sich nicht<sup>99,232</sup>, 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<sup>211,216,220</sup>). Bei *bezahnten* Patienten attestieren neuere Studien dem Stützstiftverfahren eine Genauigkeit von im Mittel ca. 0,3 mm<sup>209,217</sup>. 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 übereinstimmten (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<sup>11,25,83,106,110,125,127,179,210,216,231</sup>. Derzeit noch nicht publizierte Ergebnisse an 75 bezahnten Probanden, bei denen je drei Registrierungen jeweils ganz unterschiedlicher Art durchgeführt wurden<sup>217</sup>, 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 Pfeilwinkelzeichnung diagnostische Erkenntnisse bzgl. der kondylären Bewegung gewonnen werden können. Dies ist jedoch nur sehr eingeschränkt der Fall.

[10 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

This is exactly equivalent to the reproducibility achieved by manually guided horizontal jaw relation recording in the corresponding indications.

In terms of reproducibility, there are no differences between the fundamentally different methods of manually guided horizontal jaw relation recording and central bearing point registration.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

### 3.3 Central Bearing Point Registration and Centric Condylar Position

After studies showed that the position of the condyles in maximal intercuspation and in centric relation (centric condylar position) do not necessarily agree in central bearing point registration (see above), it was assumed for many years that manually guided horizontal jaw relation recording (check bite registration) and central bearing point registration resulted in a very similar – if not “the same” – mandibular position (and hence the same condylar position). This is now refuted: Manually guided horizontal jaw relation recording and encryption over the apex of the gothic arch tracing result in different mandibular positions<sup>11,25,83,106,110,125,127,179,210,216,231</sup>. The results of a still unpublished study in 75 dentate subjects in which three completely different types of registrations were performed per subject<sup>217</sup> indicate that central bearing point registration results in a condylar position that is a mean of approximately 0.5 mm anterior as well as cranial to that of manually guided horizontal jaw relation recording when encryption is performed exactly over the apex of the gothic arch tracing. It must be noted that, in this study, the mandible was moderately guided during the recording (Utz et al, unpublished data).

### 3.4 Diagnostic Possibilities

It has been assumed that gothic arch tracing can provide diagnostically relevant information regarding condylar movement. However, this applies only to a very limited degree.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]



In dentate subjects, a central bearing point occurs when the vertical dimension is raised by left and right lateral excursions on a horizontal plane. The width of the excursions can be determined. However, interpretation of these results is often limited due to the fact that the patient did not execute the movements or for other reasons, for example, if reduction of the range of motion is not due to dysfunction but rather due to failure to execute the movements properly.

If, in fully dentate patients, the apex of the gothic arch tracing is blunt (rounded) instead of pointed, this should not be interpreted as "immediate side shift" movement in the condylar region unless the movements truly started from a posterior starting position.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

In edentulous patients, a blunted (rounded) apex of the gothic arch tracing may occur due to horizontal movement of the occlusion rims or dentures.

### 3.5 Practical Tips for Error Avoidance

The central bearing point should be positioned so that it places the load in the center of both the maxilla and mandible. In centric condylar position, the central bearing point and tracing device should have either full periodontal support or full mucosal support to prevent their dislocation during encryption as this is associated with the ambiguous location of central bearing devices and a non-fixed position of the mandible.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

Due to the complexity of manufacturing central bearing devices, it is easier to do this in patients who are either fully dentate, restored with a completely removable denture, or completely edentulous. Therefore, in partially edentulous patients, the recording may be more difficult or in some cases useless, depending on the distribution of the remaining teeth.

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 eine abgerundete Pfeilwinkelzeichnung 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)<sup>52</sup>. 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:

In edentulous patients, the central bearing point should be attached such that closing forces are evenly distributed on the “center” of the occlusion rims or dentures in order to prevent their displacement on the tegument on jaw closure (i.e., largely “sinking vertically into the tegument” on loading).

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

The goal is a completely even distribution of the load on the tegument under the dentures in both the maxilla and mandible in centric relation (centric condylar position). Under these conditions, the mandible is supported by the right and left condyle and the central bearing point and thus has “tripod support” (from the two condyles and the central bearing point) vis-à-vis the base of the skull<sup>52</sup>. It is important to adjust the height of the central bearing point such that, in centric condylar position, there is only minimal elevation of vertical dimension between the teeth on the right and left side; this must be checked using articulating film (no antagonistic contact).

Since the recording of all border movements is generally associated with excessive elevation of vertical dimension, especially in dentulous patients, an intraoral tracing with completely recorded side movements should not be done.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

Central bearing point registration is made by gently guiding the mandible in the posterior direction (more forceful guidance results in counter reactive protrusive muscle responses) while simultaneously giving the patient clear instructions, such as:

**“Move the lower jaw forward ➔ Move the lower jaw backward ➔ Move the lower jaw to the left ➔ and back to center,  
Move the lower jaw forward ➔ Move the lower jaw backward ➔ Move the lower jaw to the right ➔ and back to center.”**

These sequences should be repeated several times in a row until the patient becomes familiar with the required movements.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

Some patients may not be able to perform the required movements according to these instructions initially, and it may seem that central bearing point registration will not be possible. In this situation, there are two possibilities to still obtain a usable “recording”:



1. The patient is instructed to perform the following jaw movements, with moderate manual guidance from the dentist: **“Please close your mouth. Now move the lower jaw ‘backwards’ and to the left and right several times.”** A combination of these instructions with those above may be helpful.
2. If this fails, the patient’s mandible can be positioned by manually guided horizontal jaw relation recording with the central bearing device in place.

Thus, the recording material can be applied so as to ensure secure fixation of the models during model mounting.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

#### 4. Summary

Central bearing point registration is a valid method for positioning of the mandible. In dentate patients, the reproducibility of the method is comparable to that of the more widely used check bite registration technique<sup>217</sup>. Provided that there is normal load on the tegument, central bearing point registration is a suitable method; this is especially true for the oral rehabilitation of edentulous patients because the occlusal rims or complete dentures used during gothic arch tracing and encryption are pressed against the tegument and do not dislodge if used correctly. In edentulous patients, CBP registration has better reproducibility than manually guided horizontal jaw relation recording<sup>216</sup>.

Central bearing point registration is contraindicated in cases where dislocation of the occlusal rims or dentures occurs on jaw closure, for example, due to the presence of pronounced “flabby ridges”, great differences between the centers of occlusal force of maxillary and mandibular prostheses, or jaw defects such as those observed after tumor surgery. Horizontal jaw relation recording by this method is also contraindicated in patients with a state of consciousness that prevents them from executing the jaw movement instructions properly.

In partially edentulous patients, CBP registration may be indicated depending on whether the distribution of the remaining teeth ensures adequate support of the central bearing device plates.

It has been shown that central point device registration results in the condyles being located in a slightly more anterior

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<sup>217</sup>. 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 Pfeilwinkelauflagezeichnung 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<sup>216</sup>.

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 aufgrund 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<sup>138</sup> (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.

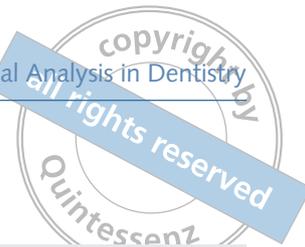
Zu der Fragestellung, ob eine handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung (Checkbiss-Registrierung) oder eine Stützstift-Registrierung für Patienten geeigneter ist, liegt lediglich eine Studie vor. Die Untersuchung bezieht sich auf Patienten mit Totalprothesen und attestiert eine nicht signifikant höhere Akzeptanz mit Prothesen, die nach Pfeilwinkelregistrierung sekundär remontiert und eingeschliffen wurden<sup>215,216</sup>. 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 systemimmanent 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.

and superior position than in manually guided horizontal jaw relation recording<sup>138</sup> (this also corresponds to our own unpublished study results). The clinical observation that the mandible can usually be manually guided slightly more posteriorly in the case of restorations made with the mandible aligned by a plastic disk “exactly over the apex of the gothic arch tracing” is a result of this. Manually guided horizontal jaw relation recording and central bearing point registration result in slightly different mandibular positions.

There is only one available study investigating the question of whether manually guided horizontal jaw relation recording (check bite registration) or central bearing point registration is more suitable for use in patients. According to this study in patients with complete dentures, the acceptance of dentures remounted and equilibrated by central bearing point registration was not significantly higher. However, practical experience with both methods of horizontal jaw relation recording indicates that patients can adequately adapt to both mandibular positions. When central bearing point registration is used, it is inherent to the system that the condyles will be set in a slightly anterior position (small space posteriorly), even if exact fixation of the position of the mandible over the apex of the gothic arch tracing is achieved; therefore, encryption must not deviate from setting the plastic disk over the apex of the gothic arch tracing.

Electronic central bearing point registration systems are merely computer-assisted variants that do not result in any significant changes in the advantages and disadvantages of the conventional central bearing point registration. Due to their operating principle, the use of electronic systems for diagnostic assessment of the mandibular condyles is subject to substantial limitations and currently is not validated. Such electronic systems may, however, facilitate patient understanding of the method and provide good documentation options.



## Part 4: Surface Electromyography of the Masticatory Muscles – Dental Applications

### 1. Definition and Development

#### 1.1 Definition

Electromyography (EMG) is a technique used to record and evaluate the bioelectrical signals produced by the muscles. EMG signals are recorded using either surface electrodes attached to the skin or needle or wire electrodes inserted directly into the muscle. EMG signals are generally detected using monopolar (intramuscular) or bipolar (skin surface) electrodes<sup>175</sup>.

The muscle is composed of motor units (MU), which consist of numerous individual fibers; these fibers are activated simultaneously but are not located at the same distance from the detection site. Consequently, signals from muscle fibers of the same motor unit reach the electrodes at slightly different times and interfere with the action potential of the motor unit. The electrical activity in parts of the muscle located closer to the electrodes (leads) makes the greatest contribution to the measured difference in potential. Each muscle contraction is characterized by the activation (recruitment) of several motor units, which may occur at different times and frequencies. The spatial distribution of motor units in the overall muscle is complex and, in the case of the muscles of mastication, limited to a very small area. Therefore, the propagation of action potentials in different parts of the muscle is not synchronous; instead, the potentials overlap and interfere with each other, resulting in what is referred to as the EMG *interference pattern*. The electrical activity developed in the process is directly proportional to the number of activated muscle fibers. Since the strength of muscle contraction depends on the number of innervated muscle fibers and the number of action potentials per unit time, the innervation of motor units and muscle groups can be evaluated by studying the summated EMG values. The recorded action potentials reflect the neuromuscular excitation of the investigated muscles and are an indirect measure of the mechanical activity of the muscle<sup>82</sup>.

Electromyography basically provides information about the state of excitation of peripheral muscles. It detects time-dependent intra- and inter-muscular activation patterns and thus provides information about the underlying central control mechanisms<sup>43</sup>.

## Teil 4: Oberflächen-Elektromyographie der Kaumuskulatur 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<sup>175</sup>.

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 Kaumuskulatur 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<sup>82</sup>.

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<sup>43</sup>.

Das mithilfe *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 Kaumuskulatur 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.

Electromyography (EMG) is most commonly performed using *bipolar surface electrodes* because this electrode configuration method can be performed quickly and atraumatically and it provides reliable and largely reproducible results. When EMG activity of the masticatory muscles is to be recorded for dental functional analysis, this non-invasive technique is the method of choice in view of the superficial location of the clinically most important muscles – the *masseter* and *temporalis*.

## 1.2 Historische Entwicklung

Der Grundstein der Elektromyographie wurde im Jahr 1791 von Galvani gelegt<sup>45</sup>. 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<sup>36</sup>. Die ersten systematisch einsetzbaren Oberflächenelektroden wurden von Piper (1912) entwickelt<sup>154</sup>. Die erste erfolgreiche Anwendung der Elektromyographie im Kopfbereich wurde von Moyers (1950) beschrieben<sup>144</sup>. Eschler (1952) und andere erkannten schon bald darauf die Bedeutung der Elektromyographie für die Zahnheilkunde<sup>39</sup>.

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<sup>108</sup>. Diese Unterschiede können auf physiologische, anatomische und technische Gründe zurückgeführt werden<sup>141</sup>. 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<sup>151</sup>.

## 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<sup>71,72,111</sup>

## 1.2 Historical Development

In 1791, the cornerstone of electromyography was laid by Galvani<sup>45</sup>, who discovered in experiments with nerve-muscle specimens that electricity could generate muscle contractions in isolated skeletal muscles. In 1848, du Bois-Reymond was the first to report that muscle action potentials can also be detected, amplified, and recorded in humans<sup>36</sup>. The first surface electrodes suitable for systematic use in electromyography were introduced by Piper in 1912<sup>154</sup>. The first successful use of electromyography for analysis of muscles in the head region was described by Moyers (1950)<sup>144</sup>. Following this seminal publication, Eschler (1952) and others quickly recognized the value of electromyography for dentistry<sup>39</sup>.

Electromyography has been used in a variety of different applications in experimental and clinical basic research from its inception until the present. Significant inter-individual differences in EMG recordings are frequently observed in such studies<sup>108</sup>. These differences can be attributed to physiological, anatomical, and technical differences<sup>141</sup>. The fact that different people use different strategies to solve identical motor tasks may inevitably be reflected in differences in EMG patterns. Electromyography is the only method that provides metric data on the functional activity of individual muscles based on the summation of action potentials<sup>151</sup>.

## 2. Objectives

In dental practice, surface electromyography is a relatively unproblematic procedure performed by attaching bipolar electrodes to the skin in the *masseter* and anterior *temporalis* region. In combination with a careful clinical assessment of function in compliance with the specific methodological recommendations<sup>71,72,111</sup>, surface electromyography allows



one to gather valid and reliable additional quantitative data on the functional state of individual masticatory muscles for the purpose of "neuromuscular functional analysis"<sup>82</sup>. EMG can be used to gather useful data on the parameters of resting activity, maximal muscle activation, spectrum of frequency during prolonged occlusal loading, and the symmetry of EMG activity (contraction behavior) of muscles on both sides of the jaw<sup>86,87</sup>.

### 3. Clinical Utility

#### 3.1 Electromyography in Prosthodontics

Technical performance of the device and patient satisfaction are the factors generally considered when assessing the functional value of a reconstructive procedure. When included in such an assessment, EMG provides additional information that takes neuromuscular aspects into account. In clinical practice, EMG signals may be recorded, for example, for comparison of neuromuscular balance in intercuspation before and after restorative dentistry or after the correction of occlusal surfaces after insertion of restorations. Studies indicate that electromyography can demonstrate asymmetrical recruitment patterns in muscles due to occlusal height differences in the individual patient<sup>88,89</sup>.

#### 3.2 EMG in Dental Functional Diagnosis and Functional Therapy

Pain induces reproducible changes in the neuromuscular system that can be detected by electromyography. Surface electromyography is not a direct method for the objectification of pain<sup>87</sup>. The most important changes for the clinical evaluation are observed during maximal voluntary contraction, in resting activity, and in the spectrum of frequency during loading. Differences in the symmetry of EMG activity in muscle contraction have also been reported<sup>86,87</sup>.

- *Maximal voluntary contraction*: According to the Pain Adaptation Model, it is hypothesized that reduced maximal muscle activation and lower force development can be observed during static muscle contractions in patients with myoarthropathy (MAP).
- *Resting activity*: The consistently observed increase in resting activity in MAP patients can be interpreted as a pain adaptation mechanism (mainly muscle stiffness) designed to protect the affected muscles or muscle regions.

ermöglicht die Oberflächen-Elektromyographie (EMG) die zusätzliche Ermittlung valider und reliabler quantitativer Daten zum Funktionszustand einzelner Kaumuskel im Sinne einer „neuromuskulären Funktionsanalyse“<sup>82</sup>. Aussagekräftige EMG-Daten können im Zusammenhang mit den Parametern Ruheaktivität, maximale Muskelaktivierung, Frequenzspektrum bei anhaltender Belastung und Symmetrie des Kontraktionsverhaltens beider Kieferseiten gewonnen werden<sup>86,87</sup>.

### 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<sup>88,89</sup>.

#### 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<sup>87</sup>. 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<sup>86,87</sup>.

- *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]

Conversely, strong phasic activity leads to pronounced muscle inhibition. Experimentally induced muscle fatigue also causes increased resting activity. Recent studies indicated that pain patients have increased resting activity.

- *Fatigue*: Numerous studies have shown that, with increasing muscle fatigue, the median frequency of the power spectrum (MPF) of the muscles of mastication, like that of the limb muscles, shifts to lower median values more rapidly than in a healthy system.
- *Symmetry of muscle contractions*: There is evidence that MAP patients exhibit asymmetry of contractions on the left and right sides of the jaw.

The following information can be derived from EMG recordings:

- Increased fatigue as an indicator of the extent of the individual muscle lesion
- Reduced contractility as an indicator of the extent of the individual muscle lesion
- Increased resting activity as an indicator of lesions in or around the temporomandibular joint, clinically non-manifest muscle lesions, stress factors or a hypervigilant disposition of the patient
- Visualization of changes in recruitment patterns of the muscles during occlusal modification of occlusal splints (change in maximum contractility, change in right-left balance patterns) as an indicator of therapeutic efficacy and for follow-up monitoring.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]

Since electromyography provides additional information about the dynamic muscle-related behavior, it seems to be a suitable method in expanded and differentiated diagnostic procedures for the dysfunctional masticatory system.

Method-specific knowledge is required for the clinical use of electromyography and, as in other kinematic methods used in dentistry, the results of electromyography should always be interpreted in the context of a detailed patient history and clinical functional analysis.

[10 votes in favor / 0 against / 0 abstentions]



## Future Research Needs

### Instrumental Movement Analysis

- Clinical randomized controlled studies comparing the importance of individual functional parameters determined by instrumental movement analysis versus the average-value method of occlusal surface design for fixed and fixed-removable dentures are still lacking. Such studies are extremely challenging to perform in several respects due to their high financial requirements (costs for examiners and patients, the acquisition of suitable candidates, and for the tooth replacement to be manufactured) in addition to their greater complexity in terms of standardization on the part of the dental laboratory and with regard to the definition and determination of relevant outcome parameters (patient-centered as well as oral physiological-based parameters). Given the number of patients required for such studies, a multicenter study design with the challenges of examiner calibration associated with it appears necessary.
- Mandibular movement recording studies in a large, representative population of patients are scarce. In combination with clinical functional analysis and, if appropriate, manual structural analysis and any other additional examinations needed (instrumental or imaging studies), the results of such studies make it possible to differentiate the range of functional movement characteristics defined as *physiological* from those defined as disturbed, i.e., *dysfunctional*, to define diagnostic criteria for dysfunction, and to compare them with existing data and concepts.
- Clinical follow-up studies capable of demonstrating the clinical value of instrumental movement analysis in the context of functional therapy using well-defined, numerically adequate, and well-represented *subgroups* of CMD or TMD/MAP patients are lacking.
- Likewise studies are missing on the question of whether, in implementation of the digital workflow by dental laboratory technicians, the results obtained with digital data are equivalent to those of analog methods.

## 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 basierten Parametern). 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 eingegliederten 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?

## Condylar Position Analysis

- The question of the extent to which different registration techniques result in spatially different positions of the joints and of whether such discrepancies in registration result in differences in the quality of adaptation when the dentures are inserted in the patient's mouth has not yet been studied sufficiently.
- There is a lack of studies on how precisely the position determined on the patient can be transferred to computer-assisted systems (e.g., CAD/CAM) and articulators in the dental laboratory.
- Supporting studies on the reliability of condylar position analysis and the precision of transfer of the measured results to both conventional analog articulators and virtual articulators are also lacking.

## Horizontal Jaw Relation Recording

There is a lack of prospective and – where feasible – blinded clinical trials designed for the comparative analysis of various different methods of horizontal jaw relation recording, which include a larger sample size, and which take the following issues into consideration:

- What are the effects of differences in the activation of the jaw-closing muscles (force during recording and the actual registration) on the position of the condyles in central bearing point registration?
- Do differences in jaw closing force during encryption lead to differences in patient acceptance of full dentures?
- Are there differences in patient satisfaction with dentures designed by manually guided horizontal jaw relation (check bite) recording versus central bearing point registration?
- How does moderate mandibular guidance in central bearing point registration affect the position of the condyles compared to unguided mandibular movements performed solely by the patient during registration?
- What are the effects of constriction of the oral cavity/tongue displacement on the position of the condyles in central bearing point registration?
- What is the location of the center of occlusal force (COF) of maxillary and mandibular complete dentures?
- To what extent does the *common* center of occlusal force of complete dentures on jaw closure on central bearing devices deviate from the respective centers of occlusal force of each jaw?



- How high are the technical and time requirements for manually guided horizontal jaw relation recording compared to those of central bearing point registration?

### Surface Electromyography of the Masticatory Muscles

- Studies designed to determine reference values for EMG parameters for different age groups in a large, maximally representative population of functionally healthy individuals and to utilize the collected data to assess the reliability of EMG-specific examination techniques have yet to be performed. Clinical trials in patient populations large enough to generate comparative values for EMG parameters for well-defined subsets of patients with craniomandibular disorders would also be desirable.
- Clinical studies that characterize the impacts of different functional and dental-restorative treatment modalities in terms of induced changes in EMG parameters are useful. In this context, the question of the extent to which EMG parameters are associated with clinical findings on the one hand and self-reported evaluations by the patient on the other is a subject of interest.
- Kinematic electromyography, as a method in which kinematic data are combined with electromyographic data, offers the potential to perform an objectifying assessment of the masticatory process and chewing capacity, including data on the degree of comminution of food or test food and particle size distribution. Clinical studies in well-defined patient populations and clinical studies with sample sizes large enough to obtain valid comparison values or reference values in the physiological context are needed to reliably confirm the validity of the assessment strategy in the context of an expanded dental functional analysis.

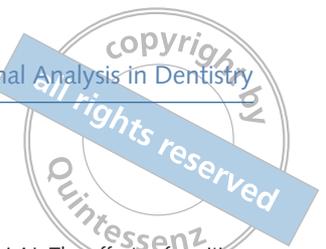
- Inwieweit weicht das *gemeinsame* „Zentrum der Belastung“ bei Totalprothesen bei Kieferschluss mit Stützstiftplatten von den jeweiligen Belastungszentren der einzelnen Kiefer ab?
- Wie hoch ist der apparative und zeitliche Aufwand bei Anwendung der handgeführten horizontalen Kieferrelationsbestimmung im Vergleich zur Stützstift-Registrierung?

### Oberflächen-Elektromyographie der Kaumuskulatur

- Bisher 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.

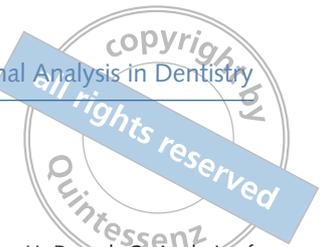
## References/Literaturverzeichnis

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 ocklusionslägen och deras reproducibilitet vid bettregistrering. *Swed Dent J* 1971;64:185–195.
6. Agerberg G. Occlusal and temporomandibular joint relations: a comparative study. *Cranio* 1987;5:233–238.
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 CranioMandib Funct* 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 Comput Dent* 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. Berlin: Springer, 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 CranioMandib Funct* 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. München: Elsevier Urban und Fischer, 2006:192–199.
18. Bias F. Instrumentelle Funktionsanalyse – elektronische Registrierungsverfahren. In: Stelzenmüller WWJ (Hrsg). Therapie von Kiefergelenkschmerzen. Stuttgart: Thieme, 2010:203–218.
19. Bicaş T, Usami H, Mericske-Stern R, et al. Change of the condyle-position in maximum intercuspitation during digital, clinical occlusal analysis. *J CranioMand Funct* 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. Stuttgart: Thieme, 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 Dentofacial 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 Pressure-dependent Registration (IPR)-Systems zur maxillo-mandibulären Relationsbestimmung. Med Diss, Marburg 2005.
34. Demling A, Ismail F, Fauska K, Schweska-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.



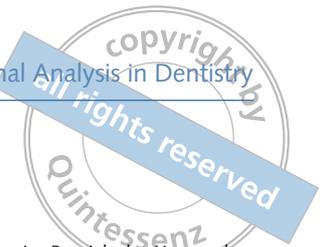
36. Du Bois-Reymond EH. Untersuchungen über thierische Electricität. Berlin: Reimer, 1848.
37. Engelhardt JP. Die funktionelle Störung des sogenannten Kauorgans – der erste Kontakt mit dem Patienten. In: Hahn W (Hrsg). Funktionslehre – aktueller Stand und praxisingerechte Umsetzung. München: Hanser 1993:25–45.
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 Funct 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. München: Hanser, 1993.
43. Freiwald J, Baumgart C, Konrad P. Einführung in die Elektromyographie – Sport, Prävention, Rehabilitation. Balingen: Spitta, 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 Kondylothermometer. 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. Zürich: Condylator Service, 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. Zürich: Condylator-Service, 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 RJ, Quayle AA, Horner K, Al-Gorashi AJ. 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. Dreieich: DeTrey/Dentsply, 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;122:49–56.
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, et al. European recommendations for surface electromyography (SENIAM 8). Enschede: Roessingh, 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, Hupfaut L. Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit des Symphyenbahnwinkels. *Dtsch Zahnärztl Z* 1970;25:13–18.
76. Horn R, Vetter A. Untersuchungen zur Differenz zwischen habituel-ler Interkuspidation 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 Registraren 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- klinisch-experimentelle Untersuchungen an Probanden und Patienten. Berlin: Quintessenz, 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). *Cranio-Mandib Funct* 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 Comput Dent* 2008;11:81–106.
83. Hugger A, Kordaß B, Assheuer J, Stüttgen U. Auswirkung stützstift-geführter 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*. Berlin: Quintessenz, 2006:53–83.
85. Hugger A, Sons T, Kordaß B, Assheuer J, Stüttgen U. Analyse der Kondylenposition im sagittalen Kernspintogramm. *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 Comput Dent* 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 Comput Dent* 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 Comput Dent* 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 Comput Dent* 2006;9:137–142.
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. Jankelson RR. *Neuromuscular dental diagnosis and treatment*. St. Louis: Ishiyaku EuroAmerica, 1990.
98. Jaschouz S, Mehl A. Reproducibility of habitual intercuspidation 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.* Köln: Velamed, 2005.
112. Kordaß B. Koppelung der Kernspintomographie des Kiefergelenkes mit computergestützten Aufzeichnungen der Kondylenbahn – neue Aspekte für die funktionsorientierte Kiefergelenkdiagnostik und -therapie. Berlin: Quintessenz, 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.* Stuttgart: Thieme 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.* Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag, 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 Comput Dent* 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.* Colorado: HAH Publications, 1960.
123. Lentner E, Rammelsberg P, Böhm A, Pospiech P, Gernet W. Zum Untersuchungseinfluss auf Lage und Reproduzierbarkeit der zentrischen Kondylenposition. *Dtsch Zahnärztl Z* 1997;52:411–415.
124. Lewin A. *Electrognathographics: atlas of diagnostic procedures and interpretation.* Chicago: Quintessence, 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;69:283–296.
129. Long JH Jr. 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. Digitally subtracted linear tomograms: three techniques for measuring condylar displacement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 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* 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, Bóscolo FN, Haiter-Neto F, Ambrosano GM, 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, engineering, and noninvasive applications.* New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.
142. Meyer G. Praxisgerechte instrumentelle Funktionsdiagnostik. In: Hahn W (Hrsg). *Funktionslehre – aktueller Stand und praxisgerechte Umsetzung.* München: Hanser, 1993:59–72.
143. Meyer G. Elektronisches Registrieren der Unterkieferbewegungen und der Kiefergelenkfunktion. In: Siebert GK (Hrsg). *Atlas der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik.* München: Hanser, 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. Wien: Springer, 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 AG. Gothic arch tracing in the edentulous. Some properties of the apex point. *Br Dent J* 1969;126:220–223.
151. Pfeifer K, Vogt L. Elektromyographie. In: Banzer W, Pfeifer K, Vogt L (Hrsg). Funktionsdiagnostik des Bewegungssystems in der Sportmedizin. Berlin: Springer, 2004:165–182.
152. Phillips GP. Fundamentals in the reproduction of the mandibular movements in edentulous mouths. *J Am Dent Assoc* 1927;14:409–415.
153. Piehslinger E, Babka A, Perman R, Slavicek R. Elektronische Axio-graphie zur objektiven Erfolgsbeurteilung der Therapie mit Aufbissbehelfen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994;49:770–773.
154. Piper H. Elektrophysiologie menschlicher Muskeln. Berlin: Springer, 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 anterior-posterior positions of the mandible. *Odontol Revy* 1957;8:458–466.
158. Quoß A, Ruge S, Kordaß B. GEDAS II – new possibilities in digital contact point analysis. *Int J Comput Dent* 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. Berlin: Med Habil Schr, 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, Teil 30. Balingen: Spitta, 1993.
166. Reusch D, Lenze PG, Fischer H. Rekonstruktion von Kauflächen und Frontzähnen. Westerbürg: Westerbürger Kontakte, 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 Zahnärztl Z* 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. Berlin: Quintessenz, 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. Berlin, Chicago, Rio de Janeiro, Tokio: Die Quintessenz, 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. Shildkraut M, Wood DP, Hunter WS. The CR-CO discrepancy and its effect on cephalometric measurements. *Angle Orthod* 1994;64:333–342.
185. Sindlecker 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. Klostern-euburg: Gamma, 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 Jr. A comparison of empirical centric relation records with location of terminal hinge axis and apex of 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 Distalbissslage des Unterkiefers. Med Diss, Bonn 1986.
190. Sonntagbauer H, Sassen H. Reproduzierbarkeit zentrischer Registrate 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. Köln: DAHTA des Deutschen Institut für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI), 2010.
199. Tuppy F, Celar RM, Celar A, Piehlinger 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 Kaumuskelatur 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 Zahmed* 2006;116:403–411.
203. Tyndall DA, Phillips C, Malone-Trahey A, Renner J. 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 Jr, Wierzb 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, Lückera 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, Lückeraht 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 Mitteilug 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;39:838–846.
221. Vahle-Hinz K, Rybczynski A, Jakstat H, Ahlers MO. Condylar position analysis with a new electronic condylar position measuring instrument E-CPM: Influence of different examiners and a working bite on reproducibility. *Int J Comput Dent* 2009;12:235–246.
222. Vogel A. Objektive Messtechnik zur physiologischen Bestimmung der Unterkieferposition. *Zahnärztl Welt* 1999;108:136–138.
223. Vogel A, Jakstat 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 Stützstiftregistriertes bei der Ermittlung der zentrischen Kieferrelation verglichen mit der maximalen Interkuspidationsposition 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.

## Further Reading / Special References not Cited in the Text

### Spezielle und weiterführende Literaturverzeichnisse, nicht im Text zitiert

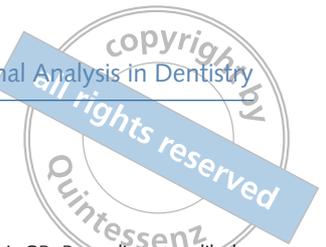
#### Further Reading for Part 1:

#### Spezielles Literaturverzeichnis zu Teil 1:

*Validity of Electronic Mandibular Movement Recordings*

*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 "Condylocomp LR3". Abstract and 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* 1991;5:51–56.
4. Baulig H, Reiber T. Experimentelle Untersuchung zur Präzision des String Condylocomp LR2 [Experimental studies of the precision of the String Condylocomp 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 WS, 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-Condylocomp 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 Condylocomp LR3 [Comparative study of Gerber's clinical resilience test with the corresponding String Condylocomp LR3 measurements]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1997;52:246–251.
12. Endo Y, Aoki H, Fujita T, et al. 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-Condylocomp nach G. Meyer und R. Klett. Med Diss, München 1991.



14. Fischer-Brandies H, Kluge G, Theusner J. Über die Linearität und Fehlerkorrektur des Scharnierachsenschreibsystems nach Meyer/dal Ri [Linearity and error correction of the Meyer/dal Ri hinge axis measurement system]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1990;45(7 spec no):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, et al. 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, Bertien 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, Bertien 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, Bertien U, Bollmann F, Stüttgen U. Accuracy of electronic jaw recordings for articulator adjustment. *J Dent Res* 2000;79:531.
25. Hugger A, Bölöni E, Bertien 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, Bertien 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, et al. 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, Kirlyš R, Stacevicius M. Reliability of ARCUStigma (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. Lückereath 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, Ré 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 Scharnierachsen-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, Møller 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 KH, 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* 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, Piehlinger E. A comparative analysis of optical and conventional axiography for the analysis of temporomandibular joint movements. *J Prosthet Dent* 2003;90:503–509.
50. Weßling 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.
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, Kirlys R, Stacevicius M. Reliability of ArcusDigma (KaVo) in diagnosing temporomandibular joint pathology. *Stomatologija* 2007;9:47–55.
11. Krischik D. Der Einfluss des intraoralen Stützstifts auf computergestützt erhobene dynamische Funktionswerte. Med Diss, Düsseldorf 2007.
12. Kucukkes 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 Achiographie unter Berücksichtigung der Messwiederholung. Masterthese, Greifswald 2007.
16. Oberle A. Vergleich der Reproduzierbarkeit der elektronischen Achiographie 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-Schol 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-Schol 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 Registrierungsverfahren 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 achiographischer Aufzeichnungen mit dem SAS-System [Studies on the reliability of axiographic recordings using SAS system]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1989;44:558–561.

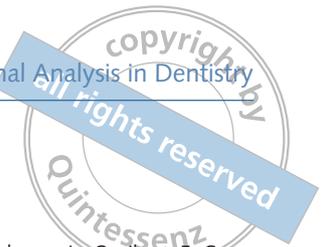
## Further Reading for Part 1:

### Spezielles Literaturverzeichnis zu Teil 1:

*Clinical Reliability of Electronic Mandibular Movement Recordings*

*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-Schol 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, et al. Reliability of computer assisted determination of functional jaw parameters. Poster (P14) 24th 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, Bertien 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.



27. Zimmer B, Keese E, Kubein-Meesenburg D. Reliabilität von achsiographischen Auffälligkeiten [The reliability of axiographic tracings]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1989;99:1386–1391.

## Further Reading for Part 1:

### Spezielles Literaturverzeichnis zu Teil 1:

#### *Structure-based Diagnostic Potential of Mandibular Movement Recordings*

#### *Strukturbezogenes diagnostisches Potenzial von Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen*

- 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.
- Bumann A, Groot Landeweer G. Reziproke Knackphänomene – Zuverlässigkeit der Axiographie. *Phillip J* 1991;8:377–379.
- Bernhardt O, Kordass B, Meyer G. The diagnostic value of computerized jaw tracking for arthrogenous temporomandibular disorders (TMD). *J CranioMandib Funct* 2014;6:39–50.
- 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.
- 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.
- Kobs G. Differentialdiagnostische Aspekte bei der Beurteilung von Funktionsstörungen des stomatognathen Systems mittels elektronischer Achiographie und Magnetresonanztomographie. *Med Diss, Greifswald* 2003.
- 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.
- Landes C, Walendzik H, Klein C. Sonography of the temporomandibular joint from 60 examinations and comparison with MRI and axiography. *J Craniomaxillofac Surg* 2000;28:352–361.
- 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.
- 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* 2012;114:457–463.
- 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: correlation of treatment-related kinesiographic and pain changes in patients receiving temporomandibular joint injections. *J Am Dent Assoc* 2013;144:397–405.
- 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.
- 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 Stomatol Belg* 1995;92:35–38.
- Ozawa S, Tanne K. Diagnostic accuracy of sagittal condylar movement patterns for identifying internal derangement of the temporomandibular joint. *J Orofac Pain* 1997;11:222–231.
- Parlett K, Paesani D, Tallents RH, Hatala MA. Temporomandibular joint axiography and MRI findings: a comparative study. *J Prosthet Dent* 1993;70:521–531.
- 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.
- Piancino MG, Cirillo S, Frongia G, et al. 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.
- 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.
- 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.
- Rammelsberg P, Pospiech P, May HC, Gernet W. Evaluation of diagnostic criteria from computerized axiography to detect internal derangements of the TMJ. *Cranio* 1996;14:286–295.
- Rammelsberg P. Untersuchungen über Ätiologie, Diagnose und Therapie von Diskopathien des Kiefergelenkes. *Berlin: Quintessenz*, 1998.
- Rozenzweig 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.
- Romanelli GG, Harper R, Mock D, Pharoah MJ, Tenenbaum HC. Evaluation of temporomandibular joint internal derangement. *J Orofac Pain* 1993;7:254–262.
- Schwahn B, Bernhardt O, Genz T, Meyer G, Biffar R. Kранио-мандибулярэ Дысфункцыя: Вэрглэхэе Унтерсухунг мит Хилфе дер SAS-Ахсиограпхэе und des MRT [Craniomandibular dysfunction: comparative study using SAS axiography and MRI]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1996;51:420–423.
- Saiczek ASEI. Magnetresonanztomographische, achsiographische und klinische Befunde bei Patienten mit Funktionsstörungen des stomatognathen Systems. *Med Diss, Aachen* 1998.