

M. O. Ahlers<sup>a</sup>, H. Jakstat<sup>b</sup>

# Development of a Computer-assisted System for Model-based Condylar Position Analysis (E-CPM)

## Entwicklung eines computergestützten Systems zur modellvermittelten Kondylenpositionsanalyse (E-CPM)

- a Priv.-Doz. Dr. med. dent., CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf sowie Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf
- b Prof. Dr. med. dent., Vorklinische Propädeutik und Werkstoffkunde, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universität Leipzig

- a Assistant Professor, CMD-Center Hamburg-Eppendorf, Germany and Polyclinic for Restorative and Preventive Dentistry, Center for Dental and Oral Medicine, School of Dental Medicine, University-Hospital Hamburg-Eppendorf, Germany
- b Prof Dr med dent, Department of Prosthetic Dentistry, Dental Materials and Special Care, Center for Dental and Oral Medicine, University of Leipzig, Germany

### Zusammenfassung

Die Kondylenpositionsanalyse ist ein Messverfahren zur dreidimensionalen quantitativen Erfassung der Unterkieferposition in verschiedenen Zuständen bzw. zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Die Messung erfolgte ursprünglich modellvermittelt in speziellen mechanischen Kondylenpositionsmessinstrumenten, im Forschungsmaßstab in mechanisch-elektronischen Messinstrumenten. Mittlerweile besteht alternativ die Möglichkeit der Messung in Form von direkt am Patienten angebrachten elektronischen Messinstrumenten. Die Computerisierung der Bildgebung ermöglicht zudem die Kondylenpositionsmessung mittels der dreidimensionalen Datensätze bildgebender Untersuchungsverfahren, was im Zusammenhang mit der Simulation und Quantifikation chirurgischer Interventionsergebnisse genutzt wurde.

Bisher nicht im erwünschten Maß verfügbar ist jedoch eine Möglichkeit zur vergleichenden Messung der Kon-

### Abstract

Condylar position analysis is a measuring method for the three-dimensional quantitative acquisition of the position of the mandible in different conditions or at different points in time. Originally, the measurement was done based on a model, using special mechanical condylar position measuring instruments, and on a research scale with mechanical-electronic measuring instruments. Today, as an alternative, it is possible to take measurements with electronic measuring instruments applied directly to the patient. The computerization of imaging has also facilitated condylar position measurement by means of three-dimensional data records obtained by imaging examination methods, which has been used in connection with the simulation and quantification of surgical operation results. However, the comparative measurement of the condylar position at different points in time has so far not been possible to the required degree. An electronic measuring instrument, allowing acquisition of the condylar position

in clinical routine and facilitating later calibration with measurements from later examinations by data storage and use of precise equalizing systems, was therefore designed by the present authors. This measuring instrument was implemented on the basis of already existing components from the Reference CPM und Cadiax Compact articulator and registration systems (Gamma Dental, Klosterneuburg, Austria) as well as the matching CMD3D evaluation software (dentaConcept, Hamburg).

**Keywords:** quantitative measurement of jaw position, condylar position analysis, equalizing systems, electronic measuring device, centric relation records, dimensional stability of bite-record materials

## Method and indication

Condylar position analysis is a method for the three-dimensional metric measurement of the condylar position as an expression of jaw position. Generally, the method serves in clinical functional diagnostics to measure the condylar position as a determination of the position of the mandible in different conditions. The conditions compared can be the following:

1. Comparison of the condylar position in different centric relation records which were produced in the course of an examination session, to quantitatively determine their agreement or deviation.<sup>1-7</sup>
2. Comparison of the condylar position in centric relation (according to the centric relation record) with the condylar position in habitual occlusion / maximum intercuspation (with or without use of a bite record).<sup>8-10</sup>
3. Comparison of the condylar position at different points in time of the course of treatment, to quantitatively evaluate the change of the jaw position as an expression of the treatment result.<sup>11,12</sup>
4. Change of the condylar position depending upon the body's posture, to quantitatively determine the influence of body's posture on the jaw position.<sup>13-15</sup>

Further, condylar position analysis is also used as a research method to, for example, check the dimensional stability of bite-record materials<sup>16</sup> or to quantitatively determine occlusal changes after impression taking with different impression trays with regard to their effects on the jaw position.<sup>17</sup>

dylenposition zu verschiedenen Zeitpunkten. Von den Autoren dieses Beitrags wurde daher ein elektronisches Messinstrument konzipiert, welches in der klinischen Routine die Erfassung der Kondylenposition erlaubt und durch Datenspeicherung und Einsatz von präzisen Gleichschaltungssystemen einen späteren Abgleich mit Messdaten aus Folgeuntersuchungen ermöglicht. Realisiert wurde dieses Messinstrument auf Basis bereits existierender Komponenten aus den Artikulator- und Registrierungssystemen Reference CPM und Cadiax Compact (Gamma Dental, Klosterneuburg, Österreich) sowie der hierzu kompatiblen Auswertungssoftware CMD3D (dentaConcept, Hamburg).

**Schlüsselwörter:** quantitative Vermessung der Kieferposition, Kondylenpositionsanalyse, Gleichschaltungssysteme, elektronisches Messinstrument, Zentrikregistrat, Dimensionsstabilität von Bissregistriermaterialien

## Verfahren und Indikation

Bei der Kondylenpositionsanalyse handelt es sich um ein Verfahren zur dreidimensionalen metrischen Vermessung der Kondylenposition als Ausdruck der Kieferposition. Generell dient das Verfahren in der klinischen Funktionsdiagnostik dazu, die Kondylenposition als Bestimmung der Lage des Unterkiefers in verschiedenen Zuständen zu messen. Die dabei verglichenen Zustände können folgende sein:

1. Vergleich der Kondylenposition bei verschiedenen Zentrikregistraten, die im Rahmen eines Untersuchungstermins erstellt wurden, um deren Übereinstimmung bzw. Abweichung quantitativ zu bestimmen.<sup>1-7</sup>
2. Vergleich der Kondylenposition in zentrischer Relation (gemäß dem Zentrikregistrat) mit der Kondylenposition in habitueller Okklusion/maximaler Interkuspitation (mit oder ohne Verwendung eines Bissregistrates).<sup>8-10</sup>
3. Vergleich der Kondylenposition zu verschiedenen Zeitpunkten des Behandlungsverlaufes, um die Veränderung der Kieferposition als Ausdruck des Behandlungsergebnisses quantitativ auszuwerten.<sup>11,12</sup>
4. Veränderung der Kondylenposition in Abhängigkeit von der Körperhaltung, um den Einfluss der Körperhaltung auf die Kieferposition quantitativ zu bestimmen.<sup>13-15</sup>

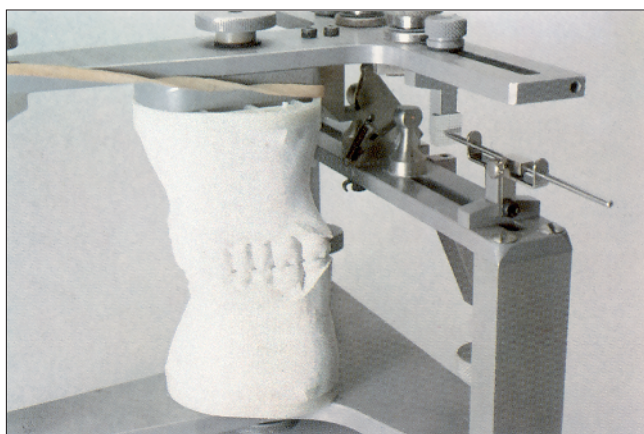


Fig 1 Stuart Kondylometer (Source: Gutowski A., Bauer A.)<sup>18</sup>  
 Abb. 1 Stuart Kondylometer (Quelle: Gutowski A., Bauer A.)<sup>18</sup>

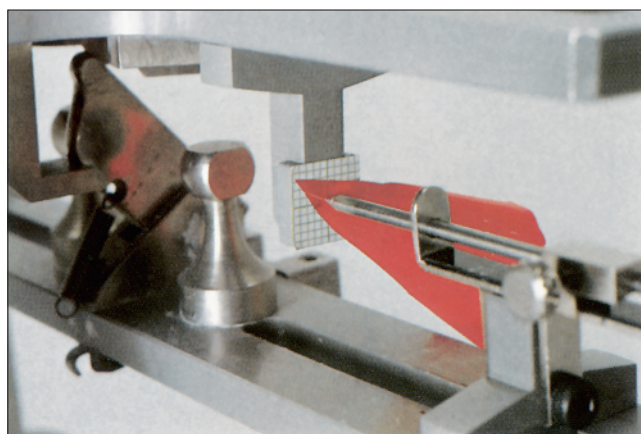


Fig 2 Stuart Kondylometer, detailed view (Source: Gutowski A., Bauer A.)<sup>18</sup>  
 Abb. 2 Stuart Kondylometer, Detailansicht (Quelle: Gutowski A., Bauer A.)<sup>18</sup>

Darüber hinaus findet die Kondylenpositionsanalyse auch als Forschungsmethode Anwendung, um beispielsweise die Dimensionsstabilität von Bissregistriermaterialien zu überprüfen<sup>16</sup> oder um okklusale Veränderungen nach Abformung mit verschiedenen Abformlöffeln in ihren Auswirkungen auf die Kieferposition quantitativ zu bestimmen.<sup>17</sup>

## Bisher verfügbare Messinstrumente

Die bislang verfügbaren Messinstrumente und -methoden lassen sich in ihrer Vorgehensweise wie folgt unterscheiden:

**1. Modellvermittelt indirekt:** Hierbei werden zunächst Präzisionsmodelle nach genauen Abformungen erstellt und anschließend das Oberkiefermodell schädelbezüglich in einen individuellen Artikulator montiert. Danach wird die Zuordnung des Unterkiefers vorgenommen, die zuerst in habitueller Okklusion oder in maximaler Inkuspitation erfolgen kann, weil die Messung im Kondylenpositionsmessinstrument per definitionem eine relative Messung ist; hierbei hat es keine Bedeutung in welcher *Richtung* gemessen wird. In der Folge werden dann weitere Kieferpositionen (gemäß Auflistung 1 bis 4) eingestellt und vermessen. Entsprechende Messinstrumente wurden von verschiedenen Autoren vorgestellt und von Firmen angeboten: Kondylometer (Firma Stuart, Vertrieb einge-

## Previously available measuring instruments

The previously available measuring instruments and methods can be distinguished by their method of use as follows:

**1. Indirect, model-based:** Precision models are produced initially after accurate impressions have been taken, and then the maxillary model is mounted in an individual articulator in relation to the skull. The mandible is then aligned to the maxilla. It can be initially in habitual occlusion or in maximum intercuspation, because the measurement in the condylar position measuring instrument is by definition a relative measurement; in this case the *direction* in which the measurement made has no significance. In the following, further mandibular positions can be simulated and measured (as given in methods 1 to 4).

Corresponding measuring instruments have been introduced by different authors before and by companies (Kondylometer, Stuart, (distribution suspended) [Figs 1 and 2]; Verichack, Denar, (distribution suspended); Condylar Position Indicator CPI, Panadent, Grand Terrace, California, USA; Mandibular Position Indicator MPI, SAM Präzisionstechnik, Gauting, Germany; Kondylen-Position-Monitor CPM, Amann Girrbach, Pforzheim, Germany [Fig 3]; CPM-SL, Amann Girrbach).



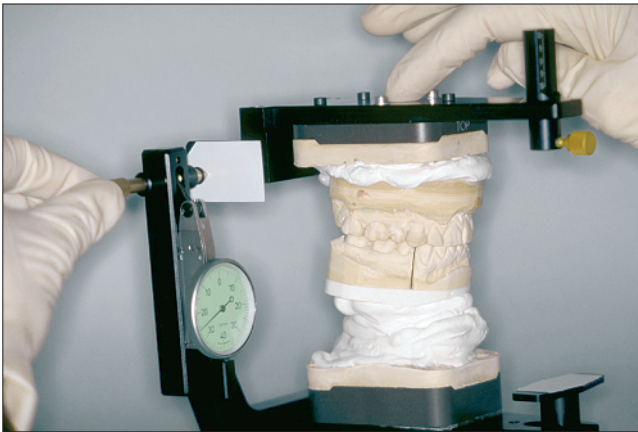


Fig 3 Reference CPM (Picture: M.O. Ahlers).<sup>25</sup>  
Abb. 3 Reference CPM (Foto: M.O. Ahlers).<sup>19</sup>

The common feature of the measuring instruments consists in their basic concept: Vertical to the joint axis stand the plane paramedian sagittal surfaces, on which paper labels are glued as carriers of the corresponding measuring marks. The coordinate systems are printed either directly on the labels (Stuart: Kondylometer;<sup>18</sup> Denar: Verichack; Panadent: CPI, SAM: MPI) or applied subsequently (AmannGirrbach: Artex CPM-SL; dentaConcept: transparent protective labels<sup>19</sup>). This facilitates measurement of the different jaw positions. Either measuring gauges (SAM: MPI 1) or dial gauges (SAM: MPI 2, AmannGirrbach: CPM) are used for measuring the transverse offset. In other devices, direct reading is done on corresponding scales in the frontal plane (eg, AmannGirrbach: Artex CPM-SL).

In addition, two mechanical electronic measuring instruments have been developed for applications on a research scale (Paar Physika [commercially not available]: Condymeter on basis of the SAM MPI, and the Bonn measuring articulator on the basis of a device from Dentatus [commercially not available]).<sup>20</sup>

The accuracy of these systems depends upon the precision of the measuring instruments, the dimensional fidelity of the precision model, the durability and the detail definition of the centric relation records.

2. **Directly, model-independent:** Alternatively, now there are measuring instruments that are mounted directly on the patient. They were developed originally for electronic hinge axis localization and three-dimensional electronic movement recording connected with this.

stellt, Abb. 1 und 2); Verichack, (Firma Denar, Vertrieb eingestellt); Condylar Position Indicator CPI (Firma Panadent, Grand Terrace, Kalifornien, USA); Mandibular-Positions-Indikator MPI (SAM Präzisionstechnik, Gauting); Condylen-Positions-Monitor CPM (Amann Girrbach, Pforzheim, Abb. 3); CPM-SL (Amann Girrbach).

Die Gemeinsamkeit der Messinstrumente besteht in ihrer Grundkonzeption: Senkrecht zur Gelenkachse stehen die planen paramedianen Sagittalfächen, auf welche Papieretiketten als Träger der entsprechenden Messmarkierungen aufgeklebt werden. Die Koordinatensysteme sind entweder direkt auf die Etiketten aufgedruckt (Stuart: Kondylometer,<sup>18</sup> Denar: Verichack, Panadent: CPI, SAM: MPI) oder nachträglich aufgebracht (Amann Girrbach: Artex CPM-SL, dentaConcept: transparente Schutzetiketten<sup>19</sup>). Auf diese Weise wird eine Vermessung der verschiedenen Kieferpositionen ermöglicht. Für die Bestimmung des transversalen Versatzes werden entweder Messlehren (SAM: MPI 1) oder Messuhren (SAM: MPI 2, AmannGirrbach: Reference CPM) verwendet. Bei anderen Geräten erfolgt eine direkte Ablesung auf entsprechenden Skalen in der Frontalebene (z. B. Amann Girrbach: Artex CPM-SL).

Für Anwendungen im Forschungsmaßstab wurden zudem zwei mechanisch-elektronische Messinstrumente entwickelt (Firma Paar Physika (Vertrieb eingestellt): Kondylometer auf Basis des SAM MPI und der Bonner Messartikulator auf Basis eines Gerätes der Firma Dentatus (reine Forschungseinrichtung, wird nicht vertrieben)).<sup>20</sup>

Die Genauigkeit dieser Systeme hängt von der Präzision der Messinstrumente, der Dimensionstreuung der Präzisionsmodelle, der Haltbarkeit und der Detailzeichnung der Zentriregistrate ab.

2. **Modellunabhängig direkt:** Eine Alternative besteht mittlerweile in Form von Messinstrumenten, die direkt am Patienten montiert werden. Sie wurden ursprünglich für die elektronische Scharnierachsenlokalisierung und die daran gebundene dreidimensionale elektronische Bewegungsaufzeichnung entwickelt. Auch derartige Instrumente entstanden zunächst auf der Basis mechanischer Instrumente mit elektronischen Messdatenaufnehmern und einer Dokumentation über Plotter (SAS-System; Vertrieb eingestellt). Erst Systeme mit elektronischer Messdatenspeicherung

waren aber auch mit Funktionen zum Auslesen der Kondylenposition ausgestattet (Cadiax Compact und Cadiax Diagnostic, Gamma Dental; String Condylcomp LR3, Dentron GmbH, Würzburg; JMA Jaw Motion Analyzer, Zebris Medical GmbH, Isny; Arcus Digma, KaVo, Biberach/Riß; Axioquick, SAM Präzisionstechnik). Diese Systeme arbeiten entweder auf der Basis induktiver Leiterplatten (Gamma: Cadiax Compact), mittels optoelektronischer Messverfahren (Dentron: String Condylcomp) oder ultraschallbasiert (Zebris, KaVo, SAM). Darüber hinaus lassen sie sich nach dem Ort der Messung auf der Achse (Gamma: Cadiax Compact; Dentron) bzw. der achsfernen Messung mit Rückrechnung unterscheiden (Zebris, KaVo, SAM).

Bei allen Apparaturen besteht die Notwendigkeit, ein Empfängersystem am Kopf des Patienten und ein Sendersystem am Unterkiefer zu befestigen. Die Reliabilität der Ergebnisse wird nach bisher unveröffentlichten Ergebnissen der Universität Heidelberg durch die Stabilität der Montage am Kopf und am Unterkiefer sowie die Körperhaltung des Patienten und die Handhabung des Instrumentariums beeinflusst.

## Grenzen der Systeme

Neben den beschriebenen Grenzen beider Systeme besteht darüber hinaus eine generelle Einschränkung: Beide Messkonzeptionen erlauben nur die Erfassung und Auswertung von Messdaten zu *einem* Zeitpunkt. Ein nachträglicher räumlicher Vergleich verschiedener Messzeitpunkte ist generell ausgeschlossen!

Bei **modellvermittelt indirekten Messverfahren** unter Einsatz spezieller Kondylenpositionsmessinstrumente besteht zwar grundsätzlich die Möglichkeit, beliebige Zentrikregistrare bzw. Kieferpositionen, die zu *verschiedenen* Zeitpunkten vermessen wurden, quantitativ miteinander zu vergleichen. Bei der Messdatenerfassung an den (mechanischen) Instrumenten auf Basis selbstklebender Registrieretiketten muss jedoch nach Abschluss der Messung die Entfernung der Registrieretiketten vom Gerät und deren Übertragung auf spezielle Untersuchungsformblätter erfolgen. Ab diesem Zeitpunkt ist die *zusätzliche* Messung weiterer Kieferpositionen für einen Vergleich mit den bisherigen Messdaten nicht mehr möglich. Bei den **modellunabhängig direkten Systemen** können infolge der notwendigen Montage des Messsystems am

Such instruments were also initially designed on the basis of mechanical instruments with electronic measured-data transducers and documentation on plotters (SAS system; distribution suspended). But the first systems with electronic measured-data storage were also equipped with functions for reading the condylar position (Cadiax Compact und Cadiax Diagnostik, Gamma Dental; String Condylcomp, Dentron, Würzburg, Germany; Jaw Motion Analyzer, Zebris Medical GmbH, Isny, Germany; Arcus Digma, KaVo, Biberach/Riß, Germany; Axioquick, SAM Präzisionstechnik). These systems work either on the basis of conductive measuring plates (Gamma: Cadiax Compact), by means of optoelectronic measuring methods (Dentron: String Condylcomp) or ultrasound (Zebris, KaVo, SAM). Moreover, they differ according to the location of the measurement on the axis (Gamma: Cadiax Compact; Dentron) or measurement remote from the axis with back calculation (Zebris, KaVo, SAM).

In all systems, it is necessary to fasten a receiver system to the head of the patient and a transmitter system to the mandible. According to unpublished studies from the University of Heidelberg, the reliability of the results is influenced by the stability of the mounting on the head and on the mandible as well as the body posture of the patient and use of instrumentation.

## Limitations of the systems

Apart from the described limitations of both systems, there is also a general restriction: Both measuring concepts allow only the acquisition and evaluation of measured data at *one point* in time. Subsequent spatial comparison of different measuring points in time is generally excluded!

In **model-based indirect measuring methods** using special condylar position measuring instruments, it is basically possible to quantitatively compare arbitrary centric relation records or jaw positions that were measured at *different points* in time with one another. However, in measured data acquisition on the (mechanical) instruments on the basis of self-adhesive recording labels, the recording labels must be removed from the device for transfer to special examination form sheets after conclusion of the measurement. Beyond this point in time, *additional* measurement of further jaw positions for a comparison with the previous measured data is no longer possible.

In the **model-independent direct systems**, only the data acquired at this time can be compared and evaluated because of the necessary mounting of the measuring system on the patient – for example the jaw position at the first tooth contact, at maximum jaw closure or in different body postures. This excludes the inclusion of data from previous examinations.

However, in clinical practice, especially in patients with craniomandibular dysfunctions (CMD), changes of the jaw position occur due to varying body posture or corresponding splint therapy. These changes, which occur within a period of time, cannot be recorded with the previously available measuring systems. But exactly this is indispensable for quality assurance in functional therapy. So far, the only way out in the model-based indirect measuring method is to measure the original records again later in the condylar position measuring instrument; however, this involves the risk of the plastic records deforming in the repeated measurement. Our own unpublished results from internal quality control show that this occurs to a relevant degree at least in the case of wax records on individual plastic carriers.

## Goal of the development

The described systems illustrate the need for the development of a three-dimensional condylar position measuring instrument which by geometrical construction, computer-assisted acquisition, storage and evaluation of the measured data offers the possibility of measuring jaw positions at different points in time and in parallel on different patients, and in this way of being able to document the course of treatment by a comparison of the results. The specification of the new system comprised the following requirements:

1. The precision of the measuring system must exceed the detail fidelity of the records used for measurement. The available studies showed that in repeated centric relation recording, variation in the range of 0.1 to 0.5 mm can be expected.<sup>7,21-24</sup> The maximum was 1.77 mm.<sup>7</sup> According to the Shannon sampling theorem, the measuring accuracy of the system must accordingly be able to detect variations of one half of this value.
2. The developed device must be compatible with customary articulators and model carrier systems because of the model-based method.

Patienten nur die zu diesem Zeitpunkt erfassten Daten verglichen und ausgewertet werden – beispielsweise die Kieferposition beim ersten Zahnkontakt, beim maximalen Kieferschluss oder in verschiedenen Körperhaltungen. Dies schließt die Einbeziehung von Daten aus vorherigen Untersuchungen aus.

In der klinischen Praxis treten jedoch gerade bei Patienten mit kraniomandibulären Dysfunktionen (CMD) Veränderungen der Kieferposition infolge einer variierenden Körperhaltung oder einer entsprechenden Schienentherapie ein. Diese Veränderungen, die sich innerhalb eines Zeitraums einstellen, können mit den bisher vorhandenen Messsystemen nicht erfasst werden. Genau dies ist für die Qualitätssicherung in der Funktionstherapie aber unverzichtbar. Der einzige Ausweg besteht bisher darin, beim modellvermittelt indirekten Messverfahren die ursprünglichen Registrate später erneut im Kondylenpositionsmessinstrument zu vermessen; dieses beinhaltet allerdings das Risiko, dass sich die plastischen Registrate bei der wiederholten Messung verformen. Eigene, unveröffentlichte Ergebnisse aus der internen Qualitätskontrolle zeigen, dass dieses zumindest bei Wachsregistraten auf individuellen Kunststoffträgern in relevanter Größenordnung vorkommt.

## Entwicklungsziel

Die beschriebenen Systeme verdeutlichen die Notwendigkeit der Entwicklung eines dreidimensionalen Kondylenpositionsmessinstrumentes, welches durch geometrischen Aufbau, computerunterstützte Erfassung, Speicherung und Auswertung der Messdaten die Möglichkeit bietet, zu verschiedenen Zeitpunkten und parallel an verschiedenen Patienten die Kieferpositionen zu messen, und dadurch den Verlauf der Behandlung durch einen Vergleich der Ergebnisse dokumentieren zu können. Das Lastenheft des neuen Systems umfasste dabei folgende Anforderungen:

1. Die Präzision des Messsystems muss die Detailtreue der zur Vermessung verwendeten Registrate übertreffen. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass bei wiederholter zentrischer Registrierung mit einer Streuung in der Größenordnung von 0,1 bis 0,5 mm zu rechnen ist.<sup>7, 21-24</sup> Das Maximum beträgt 1,77 mm.<sup>7</sup> Nach dem Shannon'schen Abtasttheorem muss die Messgenauigkeit des Systems dementsprechend Größenordnungen in der Hälfte dieses Wertes nachweisen können.



2. Das entwickelte Gerät muss aufgrund des modellabhängigen Verfahrens kompatibel zu gängigen Artikulatoren und Modellträgersystemen sein.
3. Die Messung der Kondylenposition muss dreidimensional und elektronisch erfolgen, um...
4. ...die digitale Speicherung der Messdaten zu ermöglichen.
5. Durch die Verwendung einer geeigneten Software muss ein Vergleich verschiedener Messungen vom gleichen und von unterschiedlichen Zeitpunkten in einem Koordinatensystem möglich sein.
6. Eine Schnittstelle zur Übergabe an die Diagnosesoftware muss definiert und implementiert werden.

## Realisierung des neuen Messsystems

Als Grundlage der Realisation des neuen Messsystems diente das Kondylenpositionsmessinstrument (CPM), das im Rahmen der Artikulatorserie „Reference“ vom Hersteller Amann Girrbach entwickelt und mittlerweile von der Firma Gamma Dental übernommen wurde. Die Größe des Innenraums ermöglicht die Montage von Modellen, die über Kontrollsockel (Splitcast) verfügen. Die Grundplatten des Gerätes sind sowohl zur Installation des geräteeigenen Gleichschaltungssystems als auch zur Montage anderer Gleichschaltungssysteme (z. B. Amann Girrbach: Splitex) geeignet.

Die Messelektronik, die für die Erfüllung der Vorgaben des Lastenheftes erforderlich war, wurde vom Registrierungssystem Cadiax Compact (Gamma Dental) abgeleitet. Neu entwickelt wurden spezielle Befestigungselemente, die mit dem Oberteil des Reference-CPM verbunden wurden und wiederum die reversible Montage der Registrier-„Flaggen“ ermöglichten. Die zugehörigen Mess-Styli wurden mittels neu entwickelter Führungen am Unterteil des Reference-CPM montiert. Die Gestaltung wurde so ausgelegt, dass vorhandene Styli aus dem Cadiax Compact-System verwendet werden können. Die mit den vorhandenen Styli und Flaggen verbundenen Kabel mit DIN-Anschlusssteckern wurden mit dem Cadiax Compact-Interface kombiniert und dieses per UniversalSerialBus (USB) an einen branchenüblichen PC angeschlossen.

Zum Auslesen und der Speicherung der Messdaten sowie der Daten der vergleichenden Messung wurde eine Schnittstelle entwickelt, die das System grundsätzlich für

3. The condylar position must be measured three-dimensionally and electronically in order ...
4. ... to facilitate digital storage of the measured data.
5. A comparison of different measurements at the same time and different times must be possible in one coordinate system by using suitable software.
6. An interface for transfer to the diagnostic software must be defined and implemented.

## Implementation of the new measuring system

The condylar position measuring instrument (CPM), developed in the scope of the “Reference” articulator series by the manufacturer AmannGirrbach (meanwhile taken over by Gamma Dental) served as the basis for implementing the new measuring system. The size of the interior enables models having a control base (Splitcast) to be mounted. The base plates of the device are suitable both for mounting the device's own equalizing system and for mounting other equalizing systems (eg, AmannGirrbach: Splitex).

The measuring electronics, which were required for fulfilling the requirements of the specification, were derived from the Cadiax Compact recording system (Gamma Dental). Special holders that were connected with the upper part of the Reference CPM – and in turn enabled the reversible mounting of the recording flags – were newly developed. The associated measuring styli were mounted by means of newly developed guides on the lower part of the Reference CPM. The design was such that existing styli from the Cadiax Compact system can be used. The cables with DIN connection plugs connected with the available styli, and flags were combined with the Cadiax Compact interface; this was connected by UniversalSerialBus (USB) to a normal PC. An interface which links the system basically to different diagnostic software systems was developed for reading and storing the measured data as well as the data of the comparative measurement. The system is based on a DLL (Dynamic Links Library) containing several routines:

- an opening and initialization routine with Boolean feedback for success / no success
- an interrogation routine, which returns five long values for the five axes; a Boolean parameter for success / no success facilitates defensive handling
- a closing routine that correctly logs the process off and also returns a Boolean parameter.

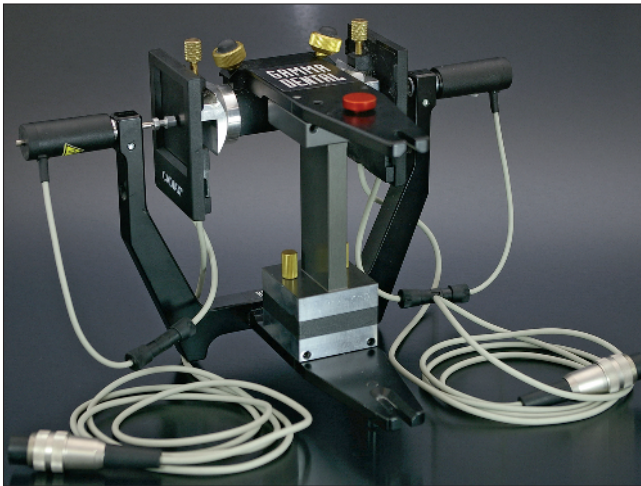


Fig 4 Prototype of the E-CPM with precision standardization base for tests on validity and reliability of the system (Picture: CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf).

Abb. 4 Prototyp des E-CPM mit Präzisionsnormungssockel für die Versuche zur Validität und Reliabilität des Systems (Foto: CMD-Centrum, Hamburg-Eppendorf).

On the basis of this interface definition, the three-dimensional data were transferred to special evaluation and diagnostic software and processed further there (CMDfact-Modul CMD3D, dentaConcept).

## Material and method of the first evaluation

Corresponding investigations were performed to check reliability and validity by reference to the first prototype. The basis of these investigations was a precision standardization base that was connected with corresponding base plates and facilitated exact reproducibility of the set condylar position (Fig 4).

On the basis of this measuring method, the first tests were performed by two examiners in each case. The first examiner ("mounter") initially performed 30 mountings. After complete dismounting had taken place, the precision standardizing key and the upper part were joined together on the base plate of the system, and then the measuring styli were brought up to the sensor plates from the lateral direction. The actual computer-assisted measuring device was operated by the second examiner ("supervisor").

verschiedene Diagnosesoftwaresysteme öffnet. Die Schnittstelle beruht dabei auf einer DLL (Dynamic Links Library), die mehrere Routinen beinhaltet:

- eine Öffnungs- und Initialisierungsroutine mit Boolescher Rückmeldung für Erfolg/kein Erfolg
- eine Abfrageroutine, die fünf Long-Werte für die fünf Achsen zurückgibt; ein Boolescher Parameter für Erfolg/kein Erfolg ermöglicht eine defensive Handhabung
- eine Schließroutine, die den Vorgang ordnungsgemäß abmeldet und ebenfalls einen Booleschen Parameter zurückgibt.

Auf Grundlage dieser Schnittstellendefinition werden die dreidimensionalen Daten an eine spezielle Auswertungs- und Diagnosesoftware übergeben und dort weiter bearbeitet (CMDfact-Modul CMD3D, Firma dentaConcept).

## Material und Methode der ersten Evaluation

Zur Überprüfung der Reliabilität und Validität wurden anhand des ersten Prototyps entsprechende Untersuchungen durchgeführt.

Grundlage dieser Untersuchungen war ein Präzisionsnormungssockel, der mit entsprechenden Sockelplatten verbunden war und eine exakte Reproduzierbarkeit der eingestellten Kondylenposition ermöglichte (Abb. 4).

Auf Basis dieser Messmethode wurden die ersten Versuche von jeweils zwei Untersuchern durchgeführt. Der erste Untersucher („Monteur“) führte zunächst 30 Montagen durch. Nachdem jeweils die vollständige Demontage erfolgt war, wurden auf der Grundplatte des Systems der Präzisionsnormungsschlüssel und das Oberteil zusammengefügt und anschließend die Mess-Styli von lateral an die Sensorplatten herangeführt. Die Bedienung der eigentlichen computergestützten Messeinrichtung erfolgte durch den zweiten Untersucher („Supervisor“).

## Ergebnisse der ersten Evaluation

Im Anschluss an die Durchführung dieser Prüfungen wurden die Messdaten ausgewertet. Dabei stellte sich heraus, dass die Streuung der Daten hinsichtlich der Präzision den Vorgaben aus dem Lastenheft nicht entsprach



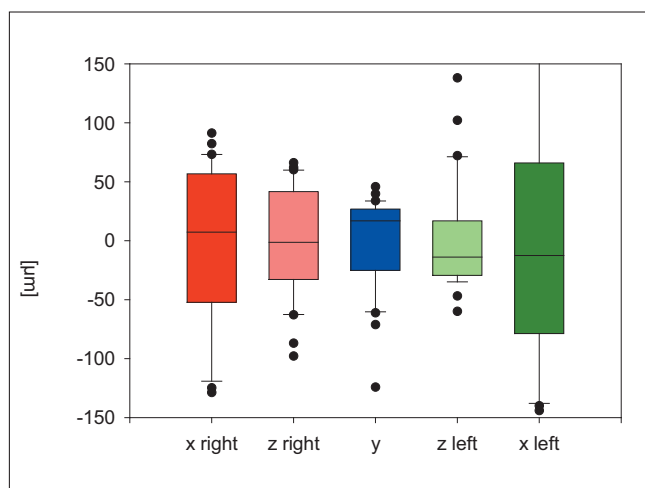


Fig 5 Measuring data of 30 measurements on the reproducibility of positioning a standard test key with the first prototype of the E-CPM. Abscissa shows data for the geometrical projection planes, labelled according to Slavicek as "x" (sagittal), "y" (axial or frontal) and "z" (vertical), ordinate indicates deviation from the mean [ $\mu\text{m}$ ].

Abb. 5 Messdaten von 30 Messungen zur Reproduzierbarkeit der Positionierung eines Normprüfchlüssels im ersten Prototypen des E-CPM. Abszisse mit den Daten für die geometrischen Projektionsebenen in der Bezeichnung nach Slavicek als „x“ (sagittal), „y“ (axial bzw. frontal) und „z“ (vertikal), Ordinate mit der Abweichung vom Mittel [ $\mu\text{m}$ ].

(Abb. 5). Bei der Ursachenforschung wurde deutlich, dass der neu entwickelte Mechanismus zur Befestigung der Messflaggen und der Aufnahmeeinheit für die Mess-Styli aus dem Cadiax Compact zu große Toleranzen aufwies. Bei der Veränderung des Prototyps wurden die Toleranzen daher reduziert und nach dieser Umgestaltung die zuvor durchgeführten Messungen in gleicher Weise wiederholt. Dabei zeigte sich, dass nunmehr die Wiederholbarkeit wesentlich besser und somit die Reliabilität in gewünschtem Maß gegeben war (Abb. 6). Sie lag sogar deutlich unterhalb der Größenordnungen der bisher bekannten Positionierungsgenauigkeit von Kiefermodellen bei der Kondylenpositionsanalyse.<sup>20</sup> Dessen ungeachtet erschien eine weitere Steigerung der Genauigkeit technisch möglich. Es erfolgte daher ein vollständiger Umbau des E-CPM-Oberteils mit geringeren Toleranzen und einem massiv verringerten Gewicht. Danach wurden die zuvor durchgeführten Messungen in gleicher Weise wiederholt (Abb. 7). Dabei zeigte sich, dass die Genauig-

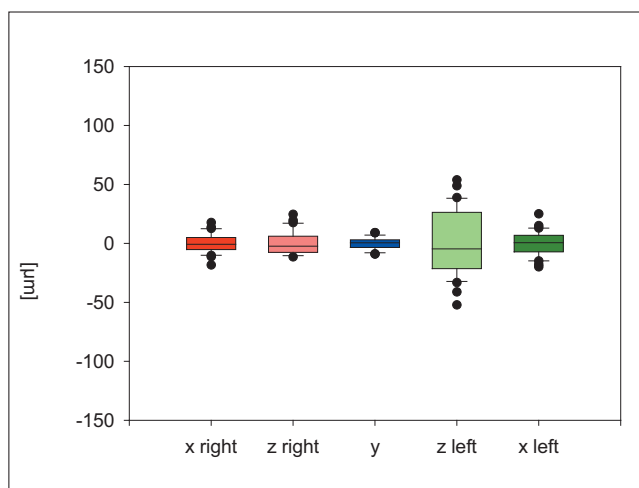


Fig 6 Recorded data of 30 measurements on the reproducibility of positioning a standard test key with the improved prototype of the E-CPM (the excessive values of the z left axis are due to a defect of the left sensor unit and were corrected later).

Abb. 6 Messdaten von 30 Messungen zur Reproduzierbarkeit der Positionierung eines Normprüfchlüssels mit dem verbesserten Prototypen des E-CPM (die überhöhten Werte der Achse z left gehen auf einen Defekt der linken Sensoreinheit zurück und wurden später korrigiert).

## Results of the first evaluation

The measured data were evaluated after these tests had been performed. It was shown that the spread of the data with regard to precision did not correspond to the requirements from the specification (Fig 5). A search for the causes showed that the tolerances of the newly developed mechanism for fastening the measuring flags and the holding unit for the measuring styli from the Cadiax Compact were too large. The tolerances were therefore reduced when the prototype was changed, and after this redesign, the previously performed measurements were repeated in the same way. It was shown that repeatability was now significantly better and reliability was provided to the required degree (Fig 6). It was even clearly above the ranges of the previously known positioning accuracy of jaw models in condylar position analysis.<sup>20</sup> Apart from this, a further increase in accuracy appeared to be technically possible. The E-CPM upper part was therefore completely

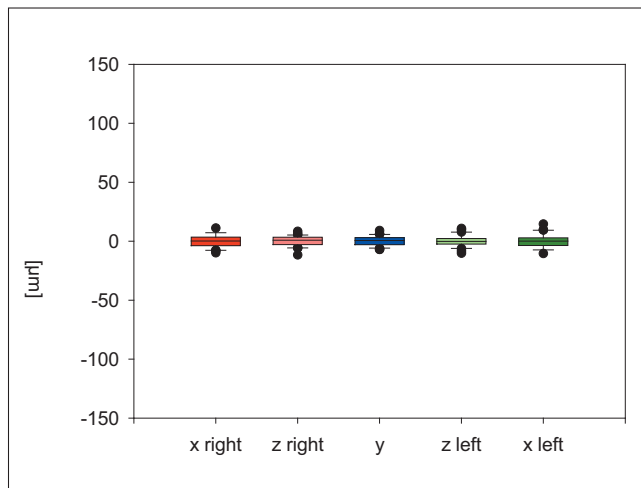


Fig 7 Recorded data of 30 measurements after renewed redesign of the recording unit with weight reduction of the E-CPM upper part for reduced loading of the wax records.  
Abb. 7 Messdaten von 30 Messungen zur Reproduzierbarkeit der Positionierung eines Normprüfsschlüssels mit dem völlig neu konstruierten Oberteil des E-CPM.

redesigned with lower tolerances and much-reduced weight. The previously performed measurements were then repeated in the same way (Fig 7). It was then shown that the accuracy of the system far exceeded the positioning accuracy from earlier studies: The requirements of the Shannon sampling theorem were exceeded in this case to such an extent that the measuring accuracy was not influenced on the part of the device.

Validity is therefore confirmed with regard to the measuring system and is thus determined only by the limits that are basically valid for the model-based direct measuring method (dimensional accuracy of the model; centric relation records used).

## Conclusion

The reliability of the new electronic condylar position measuring instrument E-CPM is confirmed on the basis of the performed in-vitro tests. It was thus shown in the course of the study that the E-CPM device represents a suitable measuring instrument for quality assurance in initial functional therapy.

The prerequisite for this is that also in a separately performed test with original models and several examiners, it can be shown that the actual measuring process fulfills the requirements for accuracy revealed within the scope of this study for the instrument itself. Additional studies are required to confirm this.

IJCD

keit des Systems die Positionierungsgenauigkeit aus früheren Untersuchungen bei weitem übertraf: Die Vorgaben des Shannon'schen Abtasttheorems wurden dabei so weit übertroffen, dass die Messgenauigkeit nicht von Seiten des Gerätes beeinflusst wurde.

Die Validität ist insofern in Bezug auf das Messsystem vorgegeben und somit lediglich von den grundsätzlich für das modellvermittelte direkte Messverfahren gültigen Grenzen (Dimensionsgenauigkeit der Modelle; verwendete Zentrikregistrare) bestimmt.

## Schlussfolgerung

Auf Basis der durchgeführten In-vitro-Prüfungen wird deutlich, dass die Reliabilität des neuen elektronischen Kondylenpositionsmessinstrumentes E-CPM gesichert ist. Im Rahmen der Studie wurde damit gezeigt, dass das E-CPM ein geeignetes Messinstrument für die Qualitätssicherung in der initialen Funktionstherapie darstellen müsste.

Voraussetzung hierfür ist, dass auch in einer gesondert durchgeführten Prüfung mit Originalmodellen und mehreren Untersuchern gezeigt werden kann, dass der eigentliche Messvorgang die Anforderungen an die Genauigkeit erfüllt, die im Rahmen dieser Studie für das Instrument selbst dargelegt werden konnten. Hierfür sind zusätzliche Untersuchungen erforderlich.

IJCD

## References

1. Keshvad A, Winstanley RB. Comparison of the replicability of routinely used centric relation registration techniques. *J Prosthodont* 2003;12:90-101.
2. Latta GH, Jr. Influence of circadian periodicity on reproducibility of centric relation records for edentulous patients. *J Prosthet Dent* 1992;68:780-783.
3. McKee JR. Comparing condylar position repeatability for standardized versus nonstandardized methods of achieving centric relation. *J Prosthet Dent* 1997;77:280-284.
4. McKee JR. Comparing condylar positions achieved through bimanual manipulation to condylar positions achieved through masticatory muscle contraction against an anterior deprogrammer: a pilot study. *J Prosthet Dent* 2005;94:389-393.
5. 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;56:230-239.
6. Shafagh I, Yoder JL, Thayer KE. Diurnal variance of centric relation position. *J Prosthet Dent* 1975;34:574-582.
7. Utz KH, Muller F, Bernard N, Hultenschmidt 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.
8. 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.
9. Utt TW, Meyers CE, Jr., Wierzba TF, Hondrum SO. A three-dimensional comparison of condylar position changes between centric relation and centric occlusion using the mandibular position indicator. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;107:298-308.
10. Utz KH, Muller F, Luckerath W, Fuss E, Koeck B. Accuracy of check-bite registration and centric condylar position. *J Oral Rehabil* 2002;29:458-466.
11. Droschl H, Permann I, Bantleon HP. Changes in occlusion and condylar positioning during retention with a gnathologic positioner. *Eur J Orthod* 1989;11:221-227.
12. Hwang HS, Behrents RG. The effect of orthodontic treatment on centric discrepancy. *Cranio* 1996;14:132-137.
13. Bamber MA, Abang Z, Ng WF, Harris M, Linney A. The effect of posture and anesthesia on the occlusal relationship in orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 1999;57:1164-1172, discussion 1172-1174.
14. Cordray FE. The importance of the seated condylar position in orthodontic correction. *Quintessence Int* 2002;33:284-293.
15. 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.
16. Wöstmann B. Klinische Forschung. Justus-Liebig-Universität Gießen, 2009. [www.uniklinikum-giessen.de/proth/PR-Prothetik-Forschung-LABOR.htm](http://www.uniklinikum-giessen.de/proth/PR-Prothetik-Forschung-LABOR.htm). Access Date 29-1-2009.
17. Pisarek A. Vergleichende Darstellung okklusaler Veränderungen nach Abformung mit Triple-Tray- und herkömmlichen Abformlöffeln. Medizinisches Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Abt. Poliklinik für zahnärztliche Prothetik. Gießen: Justus-Liebig-Universität Gießen, 2004.
18. Gutowski A, Bauer A. Funktionsanalyse und Funktionstherapie im stomatognathen System. In: Standortbestimmungen in der Zahnheilkunde in den 80er Jahren. Berlin: Quintessenz, 1982.
19. Ahlers MO. Restaurative Zahnheilkunde mit dem Artex-System. 2. Auflage. Hamburg: dentaConcept, 1998.
20. Utz KH, Muller F, Luckerath W et al. The lateral leeway in the habitual intercuspatation: experimental studies and literature review. *J Oral Rehabil* 2007;34:406-413.
21. Wood DP, Korne PH. Estimated and true hinge axis: a comparison of condylar displacements. *Angle Orthod* 1992;62:167-175; discussion 176.
22. Piehslinger E, Celar A, Celar R, Jager W, Slavicek R. Reproducibility of the condylar reference position. *J Orofac Pain* 1993;7:68-75.
23. Piehslinger E, Bauer W, Schmiedmayer HB. Computer simulation of occlusal discrepancies resulting from different mounting techniques. *J Prosthet Dent* 1995;74:279-283.
24. Ahlers MO, Edinger D. Vermessung der Unterkieferposition bei verschiedenen Zentrikregistraten unter Einsatz des Robotersystems ROSY. *Dtsch Zahnärztl Z* 1995;50:486-490.
25. Ahlers MO. Simulation of occlusion – The Artex-System. Hamburg: dentaConcept, 2000.





**Address/Adresse:** Priv.-Doz. Dr. med. dent. M. Oliver Ahlers, CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf, Falkenried 88, 20251 Hamburg, Germany,  
E-Mail: [Oliver.Ahlers@cmd-centrum.de](mailto:Oliver.Ahlers@cmd-centrum.de), [www.cmd-centrum.de](http://www.cmd-centrum.de)

**PD Dr med dent M. Oliver Ahlers**

1982: Began study of dentistry in Hamburg, scholarship from the Friedrich Naumann Stiftung  
 1987: Internships in Boston and New York  
 1988: State exams (Hamburg, Germany) and license to practice  
 1992: Doctorate at Hamburg University (Experimental studies on the prevention of cleft lips and palates), Germany  
 1996: Prize for meeting's best from the German Society of Functional Diagnostics and Therapy for the development of a documentation system for clinical functional diagnoses (with Prof. Dr. Jakstat)  
 1997: Assistant medical director  
 2001: Prize for meeting's best from the German Society of Functional Diagnostics and Therapy for the development of a diagnostic scheme for clinical functional diagnoses (with Prof. Dr. Jakstat)  
 2001: General Secretary of the German Society of Functional Diagnostics and Therapy (DGFDT)  
 2003: Instructor at the Department of Restorative and Preventive Dentistry, Hamburg-Eppendorf  
 2004: Postdoctoral qualification (habilitation) in Dental and Oral Medicine, *venia legendi*, nomination as Associate Professor  
 2004: Deputy medical director of the Department of Restorative and Preventive Dentistry, Hamburg-Eppendorf  
 2005: Foundation and dentistry head of the CMD, Hamburg-Eppendorf  
 2005: Appointment as „Specialist for functional diagnostics and therapy of the DGFDT“  
 2008: Prize for meeting's best from the German Society of Functional Diagnostics and Therapy for the development of an electronic condylar position measuring system (with K. Vahle-Hinz, A. Rybczynski and Prof. Dr. Jakstat)

**PD Dr. med. dent. M. Oliver Ahlers**

1982: Studium der Zahnmedizin in Hamburg, Stipendium der Friedrich-Naumann-Stiftung  
 1987: Auslandsfamulaturen in Boston und New York  
 1988: Staatsexamen und Approbation in Hamburg  
 1992: Promotion an der Universität Hamburg  
 1996: Tagungsbestpreis der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie für die Entwicklung eines Dokumentationssystems für klinische Funktionsbefunde (mit Prof. Dr. Jakstat)  
 1997: Oberarzt  
 2001: Tagungsbestpreis der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie für die Entwicklung eines Diagnoseschemas für die klinische Funktionsanalyse (mit Prof. Dr. Jakstat)  
 2001: Generalsekretär der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie  
 2003: Lehrverantwortung für die Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde  
 2004: Habilitation für das Fach Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, *Venia legendi*, Ernennung zum Priv.-Doz.  
 2004: Stellvertretender ärztlicher Leiter der Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde  
 2005: Gründung und zahnärztliche Leitung des CMD-Centrums Hamburg-Eppendorf  
 2005: Ernennung zum „Spezialisten für Funktionsdiagnostik und -therapie der DGFDT“  
 2008: Tagungsbestpreis der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie für die Entwicklung eines elektronischen Kondylenpositionsmesssystems (mit K. Vahle-Hinz, A. Rybczynski und Prof. Dr. Jakstat)