

# **CMD**trace<sup>®</sup>

Anleitung

## 1 Instrument und Indikation

CMDtrace ermöglicht die Ablaufverfolgung, Auswertung und Dokumentation von Bewegungsaufzeichnungen in der instrumentellen Bewegungsanalyse in der Zahnmedizin (engl. „tracing“ = Ablaufverfolgung). Die Software und ihre inhaltliche Systematik sind dabei grundsätzlich kompatibel zu allen kondylären Registriersystemen.

### 1.1 Registriersystem

Die Messtechniken und Auslegungen der verschiedenen Registriersysteme sind allerdings unterschiedlich. Den ersten Schritt der funktionellen Bewegungsanalyse in CMDtrace bildet daher die Erfassung des eingesetzten Registriersystems. Wählen Sie hierfür aus den angebotenen Optionen die passende aus.



Beispiel für ein Registriersystem auf Basis der Ultraschallmesstechnik: Zebris Jaw Motion Analyzer, JMA (Abbildung: Ahlers)

Auswählbar sind unter anderem fünf Registriersysteme auf Basis der Ultraschallmesstechnik:

- ▶ **Zebris JMANalyzer optical**
- ▶ **Zebris JMANalyzer / JMANalyzer+**
- ▶ **KaVo® ARCUSdigma® II**
- ▶ **SAM® Axioquick Recorder®**

Hinzu kommen zwei Registriersysteme mit gelenknaher Erfassung der Unterkieferbewegungen auf Basis des Spannungsteilungsverfahrens:

- ▶ **Gamma Dental Cadiax® Compact 2**
- ▶ **Gamma Dental Cadiax® 4**

Ebenso auswählbar ist ein optoelektronisches System:

- ▶ **Freecorder® Bluefox.**

Andere Registriersysteme können Sie über eine Freitextoption erfassen.



Beispiel für ein Registriersystem auf Basis des Spannungsteilungsverfahrens: Gamma Dental Cadiax® Compact 2 (Abbildung: Ahlers)

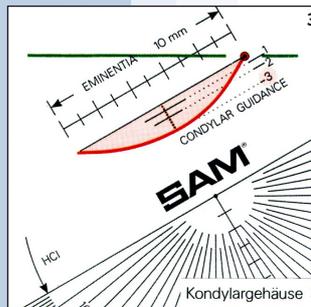
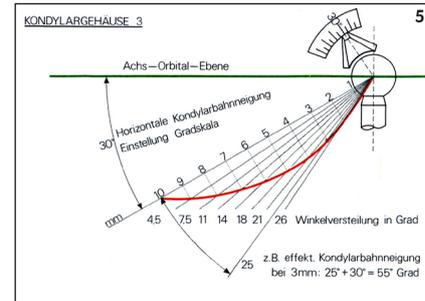
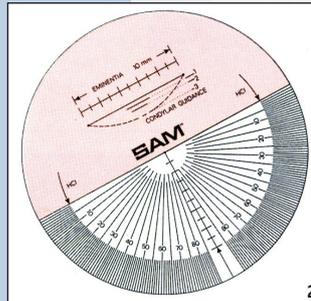
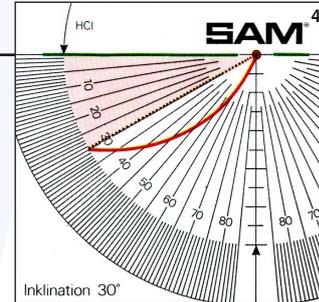
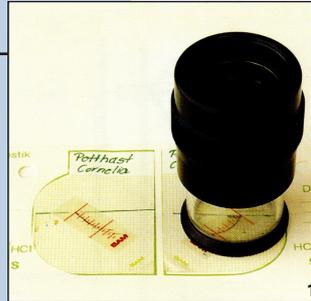
## 1.2 Indikation

### 1.2.1 Programmierung des Artikulators

Anlass für eine instrumentelle Bewegungsaufzeichnung und eine funktionelle Bewegungsanalyse können verschiedene Fragestellungen sein. Legen Sie die individuelle Indikation vor der Untersuchung fest, da sich der notwendige Umfang Ihrer Aufzeichnungen und Auswertungen daraus ergibt.

Die historisch älteste Indikation ist die individuelle Artikulatorprogrammierung, sie ist auch aufgeführt im Gebührenverzeichnis der deutschen Gebührenordnung für Zahnärzte (GOZ) von 2012 als Leistungsposition GOZ 8065 (bei elektronischer Aufzeichnung).

Für die Auswertung benötigen Sie Aufzeichnungen in drei verschiedenen Bewegungsrichtungen, aus denen Ihre Gerätesoftware die Neigungswinkel und die Krümmungsradien der Kondylenbahn und der Bennettbewegung berechnen können. Diese Auswertung erfolgte bei mechanischen Registrierensystemen durch die Überlagerung von Kurvenradien auf die Bewegungsverläufe als Grundlage der Ermittlung der individuellen Einstellung bzw. „Programmierung“.



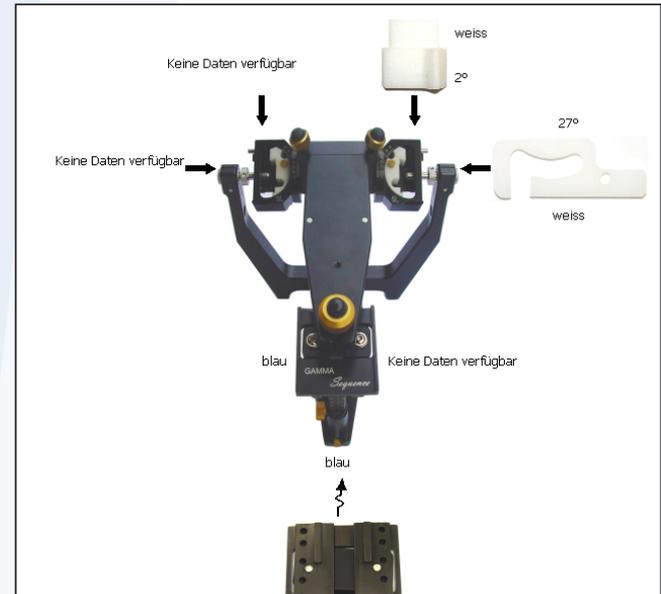
- 1) Auswertung der mechanischen Bewegungsaufzeichnung (hier: SAM® Axiograph®) mit aufgesetzter Messlupe
- 2) Inhalt der Messlupe des SAM-Systems
- 3) Überlagerung der Messlupe über die Bewegungsbahn zur Auswahl der Kurvenform mit dem passenden Radius bei Verfügbarkeit unterschiedlich gekrümmter Kondylargehäuse
- 4+5) Effektive Kondylenbahnneigung in Grad in Abhängigkeit von der Winkelverteilung zu Beginn des Bewegungsverlaufes (Abbildungen: Reusch Lenze Feyen ©Westerburger Kontakte, mit freundlicher Genehmigung)

Bei den **elektronischen Systemen** rechnet die geräteabhängige Auswertungssoftware die Einstellwerte nach dem grundsätzlich gleichen Vorgehen aus und dokumentiert diese.

So gibt beispielsweise bei einer beliebigen Beispielpatientin für die die Programmierung des Artikulators Gamma Reference SL (unten) die Software Cadiax die rechts abgebildeten Einstellwerte aus (rechts).



Gamma Reference SL  
(Abbildung: GAMMA Medizinisch-wissenschaftliche Fortbildungs-GmbH)



Elektronische Ermittlung der Einstellwerte für Reference-Artikulatoren am Beispiel der Software Cadiax®, Gamma Dental (Abbildung: Ahlers)

Im Gegensatz dazu gelten für die Programmierung des Artikulators Artex AR (unten) die in der Tabelle rechts angegebenen Einstellwerte.



Artex AR (Abbildung: Ahlers)

### CADIAx® Kurven

|     | Protrusion |        | Mediotr. rechts |        | Mediotr. links |       |
|-----|------------|--------|-----------------|--------|----------------|-------|
|     | SKN r      | SKN l  | S K N           | T K N  | S K N          | T K N |
| 1.  | 38,8°      | 37,8°  | 32,6°           | -11,5° | 43,7°          | -1,7° |
| 2.  | 29,8°      | 32,4°  | 18,2°           | 0,2°   | 35,4°          | 3,3°  |
| 3.  | 8,6°       | 32,7°  | 21,7°           | -1,1°  | 33,7°          | 3,0°  |
| 4.  | 1,7°       | 30,1°  | -0,1°           | -0,1°  | 31,5°          | 2,0°  |
| 5.  |            | 27,6°  |                 |        | 30,2°          | 0,5°  |
| 6.  |            | 22,7°  |                 |        | 25,9°          | -1,8° |
| 8.  |            |        |                 |        | 16,7°          | -2,1° |
| 10. |            |        |                 |        |                |       |
| 14. |            |        |                 |        |                |       |
|     | Retrusion  |        |                 |        |                |       |
| -1. | 31,3°r     | 18,5°r |                 |        |                |       |
| -2. | 33,2°r     |        |                 |        |                |       |

### Sagittale Kondylarbahneigung Artex® Arcon AR

|  | Rechts |       |        | Links |       |        |
|--|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
|  | 3. mm  | 5. mm | 10. mm | 3. mm | 5. mm | 10. mm |
|  |        |       |        | 24°   | 23°   |        |

### Transversale Kondylarbahneigung Artex® Arcon AR

|       | Rechts |       |        | Links |       |        |
|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
|       | 3. mm  | 5. mm | 10. mm | 3. mm | 5. mm | 10. mm |
| Angle | 5°     |       |        | 5°    | 5°    | 5°     |
| ISS   | 0.1    |       |        | 0.0   | 0.0   | 0.0    |

ISS Schwellwert: 0.5

Elektronische Ermittlung der Einstellwerte am Beispiel der Software Cadiax®, Gamma Dental, für Artex-Artikulatoren. (Abbildung: Ahlers)

Für den Artikulator SAM 3 (unten) wiederum sind die individuellen Einstellwerte zur individuellen Programmierung in der Tabelle rechts angegeben.



SAM 3 (Abbildung: SAM Präzisionstechnik GmbH)

| CADIAx® Kurven |            |        |                 |        |                |       |
|----------------|------------|--------|-----------------|--------|----------------|-------|
|                | Protrusion |        | Mediotr. rechts |        | Mediotr. links |       |
|                | SKN r      | SKN l  | S K N           | T K N  | S K N          | T K N |
| 1.             | 38,8°      | 37,8°  | 32,6°           | -11,5° | 43,7°          | -1,7° |
| 2.             | 29,8°      | 32,4°  | 18,2°           | 0,2°   | 35,4°          | 3,3°  |
| 3.             | 8,6°       | 32,7°  | 21,7°           | -1,1°  | 33,7°          | 3,0°  |
| 4.             | 1,7°       | 30,1°  | -0,1°           | -0,1°  | 31,5°          | 2,0°  |
| 5.             |            | 27,6°  |                 |        | 30,2°          | 0,5°  |
| 6.             |            | 22,7°  |                 |        | 25,9°          | -1,8° |
| 8.             |            |        |                 |        | 16,7°          | -2,1° |
| 10.            |            |        |                 |        |                |       |
| 14.            |            |        |                 |        |                |       |
| Retrusion      |            |        |                 |        |                |       |
| -1.            | 31,3°r     | 18,5°r |                 |        |                |       |
| -2.            | 33,2°r     |        |                 |        |                |       |

| Sagittale Kondylarbahneigung SAM® |        |       |        |       |       |        |
|-----------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Fossa                             | Rechts |       |        | Links |       |        |
|                                   | 3. mm  | 5. mm | 10. mm | 3. mm | 5. mm | 10. mm |
| Fossa 1                           | ●15°   |       |        | 27°   | 26°   |        |
| Fossa 2                           | 15°    |       |        | ●21°  | ●21°  |        |
| Fossa 3                           | 15°    |       |        | 15°   | 15°   |        |

| Transversale Kondylarbahneigung SAM® |        |       |        |       |       |        |
|--------------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
|                                      | Rechts |       |        | Links |       |        |
|                                      | 3. mm  | 5. mm | 10. mm | 3. mm | 5. mm | 10. mm |
| WEISS                                | ●0°    |       |        | ●3°   | ●2°   | ●0°    |
| GRÜN                                 | 0°     |       |        | 0°    | 0°    | 0°     |
| BLAU                                 | 0°     |       |        | 0°    | 0°    | 0°     |
| ROT                                  | 0°     |       |        | 0°    | 0°    | 0°     |

Elektronische Ermittlung der Einstellwerte am Beispiel der Software Cadiax®, Gamma Dental, für SAM®-Artikulatoren. (Abbildung: Ahlers)

## 1.2.2 Funktionelle Bewegungsanalyse

Unabhängig von der Artikulatorprogrammierung ermöglichen elektronisch aufgezeichnete Kieferbewegungen verschiedene strukturierte Auswertungen, die als funktionelle Bewegungsanalyse zusammengefasst werden. Deren Ziel ist es, durch Auswertung bestimmter Bewegungsmerkmale Rückschlüsse auf die strukturelle Situation im Kiefergelenke und die funktionelle Bewegungskoordination des Unterkiefers und damit auch der Zähne zu erhalten. Voraussetzung hierfür ist die Erfassung und Auswertung einer Vielzahl von Parameter.

CMDtrace erfasst Ihre diesbezüglichen Auswertungen auf der Grundlage wissenschaftlicher Arbeiten und der aktuellen Leitlinie Instrumentelle Funktionsanalyse der DGFDT und anderer Fachgesellschaften und Gruppen:

- ▶ Ahlers MO, Bernhardt O, Jakstat HA, Kordaß B, Türp JC, Schindler HJ, Hugger A: Motion analysis of the mandible: concept for standardized analysis of computer-assisted recording of condylar movements. J CranioMand Function 6, 4 (2014) 333–352 (siehe Abbildung rechts)
- ▶ Ahlers MO, Bernhardt O, Jakstat HA, Kordaß B, Türp JC, Schindler HJ, Hugger A: Motion analysis of the mandible: guidelines for standardized analysis of computer-assisted recording of condylar movements. Int J Computer Dent 2015;18(3): 1–24
- ▶ Leitlinie „Instrumentelle zahnärztliche Funktionsanalyse“ (S2k), AWMF-Registernummer: 083-017.

SCIENCE
WISSENSCHAFT



M. Oliver Ahlers

M. O. Ahlers<sup>1</sup>, O. Bernhardt<sup>2</sup>, H. A. Jakstat<sup>3</sup>, B. Kordaß<sup>4</sup>, J. C. Türp<sup>5</sup>, H. J. Schindler<sup>6</sup>, A. Hugger<sup>7</sup>

**Motion analysis of the mandible: concept for standardized evaluation of computer-assisted recording of condylar movements**  
**Bewegungsanalyse des Unterkiefers: Konzept zur standardisierten Auswertung computerunterstützter Aufzeichnung kondylärer Bewegungen**

**Zusammenfassung**

Die Methode der Aufzeichnung von Bewegungen des Unterkiefers ist in der zahnärztlichen Therapie schon lange eingeführt. Hier dient sie zur Erfassung der kondylären Bewegung am Patienten als Grundlage der patientengetreuen Programmierung individuell einstellbarer Artikulatoren. Davon abweichend besteht inzwischen zudem die Möglichkeit, aus erstellten kondylären Bewegungsaufzeichnungen des Unterkiefers auf die morphologische Situation im Kiefergelenkbereich Rückschlüsse zu ziehen. Die jüngste Nutzungsmöglichkeit von Aufzeichnungsdaten zur Bewegungsanalyse besteht im diagnostischen und behandlungsbegleitenden Funktionsmonitoring des

**Abstract**

The method of recording mandibular movements was first introduced in dentistry as a tool for treatment planning decades ago. The objective is to capture condylar movement data for patient-specific programming of articulators with individualized adjustment. Apart from that, current systems now enable the clinician to analyze the acquired mandibular/condylar movement recordings in order to obtain insight into the morphological situation of the temporomandibular joint region. The latest application for analysis of the recorded jaw-motion data allows a functional monitoring of the patient as a diagnostic and surveillance tool accompanying treatment. Parameters for the analysis

|  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. PD. Dr. med. dent. M. Oliver Ahlers, CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf sowie Poliklinik für Zahnerhaltung, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf</li> <li>2. Prof. Dr. med. dent. Olaf Bernhardt, Poliklinik für Zahnerhaltung, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Ernst-Moritz-Arnst-Universität Greifswald</li> <li>3. Prof. Dr. med. dent. Holger A. Jakstat, Vorklinische Propädeutik und Werkstoffkunde, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universität Leipzig</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Prof. Dr. med. dent. Bernd Kordaß, Abteilung für Digitale Zahnmedizin – Okklusions- und Kau Funktionsstörungen, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Ernst-Moritz-Arnst-Universität Greifswald</li> <li>5. Prof. Dr. med. dent. Jens C. Türp, Klinik für Rekonstruktive Zahnmedizin und Myofasciopathien, Universitätsklinik für Zahnmedizin, Universität Basel, Schweiz</li> <li>6. Prof. Dr. med. dent. Hans-Jürgen Schindler, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Universitätszahnklinik, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg</li> <li>7. Prof. Dr. med. dent. Alfons Hugger, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Westdeutsche Kieferklinik, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf</li> </ol> |
|--|--|

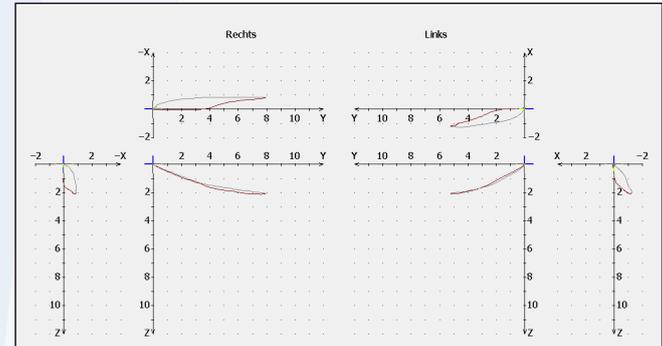
Zeitschrift für Krianiomandibuläre Funktion 2014;6(4):293–312
293

### ► Bewegungskapazität?

Bei der Analyse der Bewegungskapazität erfassen Sie die Weite der verschiedenen Bewegungen und werten diese aus.

Wenn die Bewegungskapazität auffällig klein ist, spricht dies für strukturelle Veränderungen im Kiefergelenk (z.B. Diskusverlagerung ohne Reposition), wenn die Bewegungskapazität besonders groß ist, für eine Kondylushypermobilität.

Beachten Sie dabei immer den Kontext mit den übrigen Befunden, bevor Sie eine Diagnose stellen. Das gelingt am übersichtlichsten im CMDfact®-Modul CMD DiagnosePilot.



Bewegungskapazität bei Protrusion (Abbildung: Ahlers)

### ► Bewegungsverlauf?

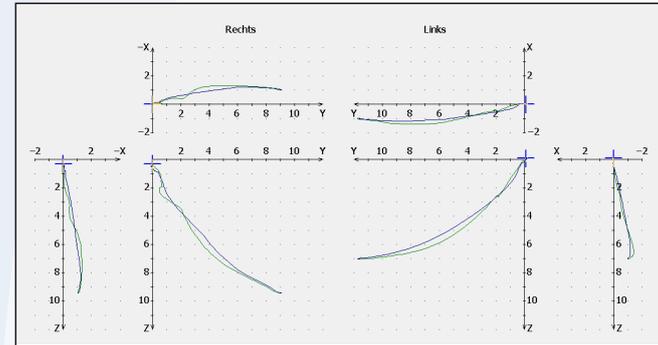
Die Beurteilung des Bewegungsverlaufes ermöglicht Ihnen Rückschlüsse auf strukturelle Veränderungen im Kiefergelenk.

Die *Spezifität* dieser Auswertung ist sehr hoch: Was in den Bewegungsverläufen sichtbar ist, liegt in der Regel auch tatsächlich vor. In diesen Fällen bewirken gewebliche Veränderungen im Kiefergelenk charakteristische Abweichungen des Bewegungsverlaufes vom Normalen.

Die *Sensitivität* der Auswertungen ist im Vergleich geringer: Zustände, die nicht in den Kurven erkennbar sind, können klinisch dennoch vorliegen, weil nicht jede gewebliche Veränderung den Bewegungsverlauf sichtbar beeinflusst.

Die **Auswertung** erfolgt durch den Vergleich des aufgezeichneten Bewegungsverlaufes mit Verlaufsformen, die für bestimmte Störungen typisch sind. Die Bewertung erfolgt dabei vierdimensional, also in den drei Raumdimensionen und unter Beachtung des zeitlichen Verlaufes. Die Einbeziehung des der Zeit als vierter Dimension bildet dabei einen entscheidenden Vorteil elektronischer Registriersysteme gegenüber früheren mechanischen Systemen.

**Voraussetzung** für die Berücksichtigung gelenknaher Bewegungsanteile und der Okklusion ist dabei die paraokklusale Adapterbefestigung (siehe Setup).



Beispiel für eine S-förmige Bewegung als Zeichen einer strukturellen Veränderung im rechten Kiefergelenk (Abbildung: Ahlers)

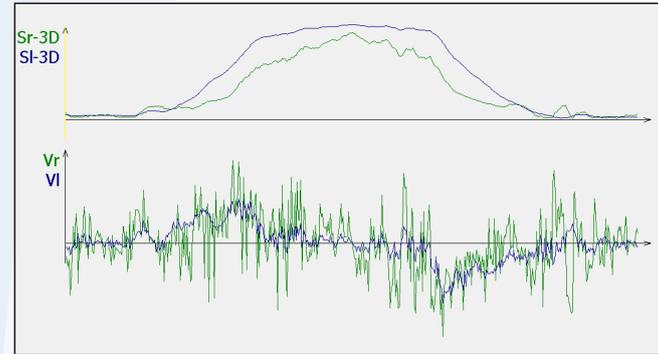
### 1.2.3 Bewegungskoordination?

Die Analyse der Bewegungskoordination erlaubt Ihnen die Identifikation einer physiologischen und pathologischen Koordination. Die Bewertung erfolgt nicht einfach im Sinne einer ja/nein-Differenzierung, sondern an Hand qualitativer und quantitativer Bewegungsmerkmale. Um zu prüfen, ob sich diese qualitativen und quantitativen Merkmale im Behandlungsverlauf verbessern werden diese Befunde im Behandlungsverlauf reevaluiert.

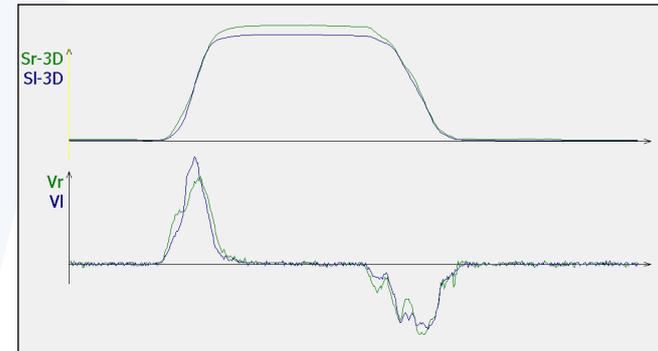
**Zeitpunkte:** Die Untersuchung findet einmal vor der Behandlung statt und zu bestimmten Zeitpunkten *im Verlauf*. Diese Meilensteine werden bei der Aufstellung des Behandlungsplanes festgelegt. Ein typischer Zeitpunkt für eine Reevaluation ist nach ca. drei Monaten Funktionstherapie (siehe Abbildungen). Eine solche Reevaluation kann auch schon früher sinnvoll sein, zum Beispiel nach vierwöchigem Tragen einer in der vertikalen Dimension angepassten Okklusionsschiene zur Überprüfung der Adaptation an die wiederhergestellte vertikale Dimension auf der Grundlage objektiver Befunde.

**Voraussetzungen:** Diese aussagekräftige Untersuchungstechnik ist erst durch die computergestützte Auswertung und die dafür jüngst entwickelten Auswertungsstrategien möglich geworden. Erforderlich sind Zeit-Weg-Diagramme, welche die Weite der Bewegung im Verlauf des Bewegungsablaufes und in Relation zur Bewegungsgeschwindigkeit darstellen.

CMDtrace ermöglicht Ihnen zudem, die erhobenen und dokumentierten Befunde im Kontext mit Informationen aus den anderen Untersuchungen im CMDfact-Modul CMD DiagnosePilot qualifiziert einordnen.



Bewegungskoordination, dargestellt im Weg-Zeit-Diagramm, vor Behandlung (Abbildung: Ahlers)



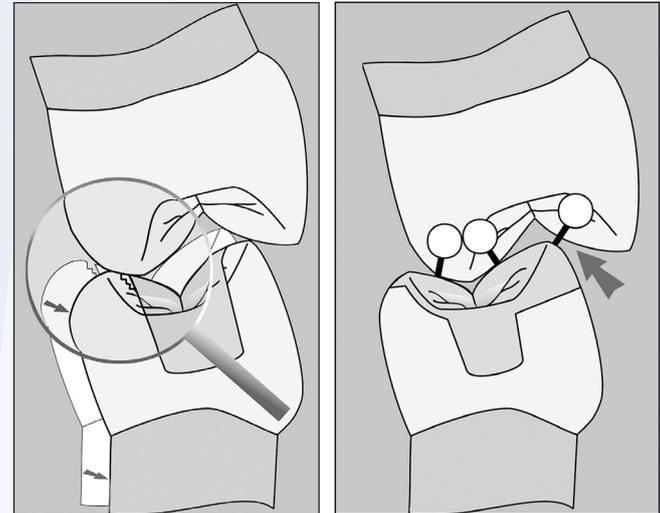
Bewegungskoordination, dargestellt im Weg-Zeit-Diagramm, nach Behandlung (Abbildung: Ahlers)

### 1.2.4 Okklusale Zentrierung?

Mit der Bewegungsanalyse können Sie auch die Qualität der okklusalen Zentrierung auswerten. Obligate Voraussetzung dafür ist die paraokklusale Adapterbefestigung, weil nur so Zahnkontakt bei der Untersuchung und somit die Auswertung der Kieferposition unter Zahnkontakt möglich ist. Mit der Untersuchung können Sie feststellen, ob der Bewegungsverlauf aus der initial kalibrierten Kondylenposition startet – oder ob diese abweicht - und ob diese zum Bewegungsende dreidimensional wieder erreicht wird.

**Zeitpunkt:** Es ist sinnvoll, auch diese Prüfung zu Behandlungsbeginn durchzuführen und dann im Behandlungsverlauf zu wiederholen - ggf. mit eingesetzter Positionierungsschiene.

**Unterscheidung:** Die Prüfung der kondylären Stabilität („Zentrikstabilitätsanalyse“) erfolgt immer unter Bezug auf die Kieferbewegung (Translation). Dies unterscheidet sie von der Kondylenpositionsanalyse; hier werden statische Kondylenpositionen ausgewertet (siehe CMDfact-Modul CMD3D).



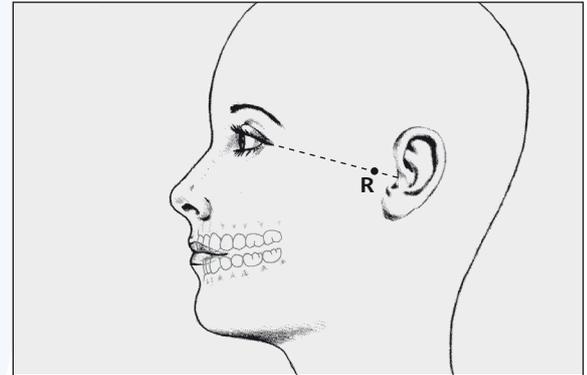
Links: Okklusionskontakte bei unzureichender Zentrierung  
 Rechts: Okklusionskontakte bei physiologischer Zentrierung  
 (Abbildungen: Ahlers / dentaConcept® Verlag, Hamburg)

## 2 Setup

Verschiedene Faktoren beeinflussen die Befunde und sollten daher dokumentiert werden, denn ohne diese Informationen kann man die Kurven funktionell nicht einordnen.

Schon auf der vorherigen Programmseite erfasst haben Sie die Auswahl des Registrierensystems sowie die indikationsbedingte Auswahl der aufgezeichneten Bewegungen.

Was noch fehlt sind die posterioren Referenzpunkte, die Art der Ausführung dynamischer Bewegungen und die Art der Adapterbefestigung.



Arbiträre Einstellung nach einer anatomischen Hautreferenz  
(Abbildung: Ahlers / dentaConcept® Verlag, Hamburg)

### 2.1 Posteriore Referenzpunkte

Kondyläre Bewegungsaufzeichnungen benötigen eine Referenzebene; auf diese beziehen sich spätere Auswertungen. Die Referenzebene definieren ein anteriorer und zwei posteriore Referenzpunkte.

Der anteriore Referenzpunkt ist je nach System vorgegeben (siehe die Angabe des Registriersystems im Menü Instrument).

Die posterioren Referenzpunkte können Sie je nach System individuell oder arbiträr bestimmen. Die beeinflusst später das Aussehen der Kurven, um zu verstehen, warum die wie verlaufen braucht man diese Information.

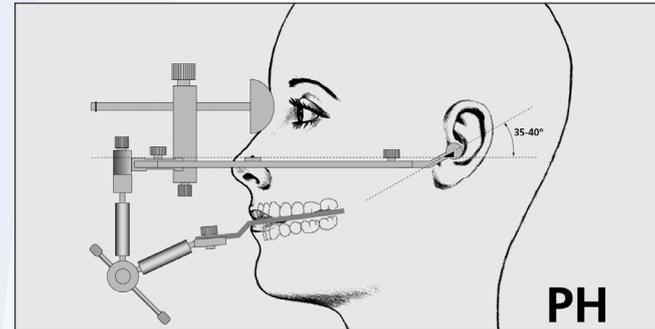
Dokumentieren Sie daher an dieser Stelle Ihre Methode zur Referenzpunktbestimmung:

**arbiträr nach Systemvorgaben** (bei ultraschallgestützten Systemen ist das eine *Alternative*, beim System Cadiax® Compact 2 ist es die *Vorgabe*);

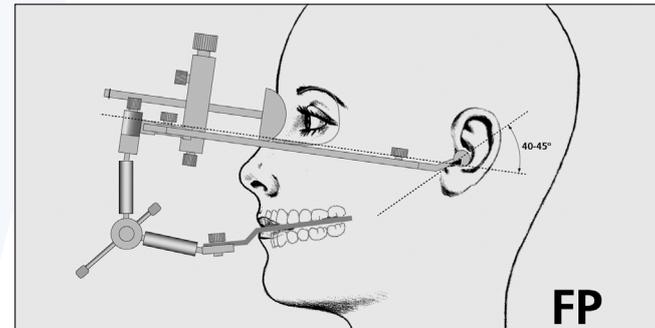
**arbiträr nach** anatomischer, von Ihnen markierter **Hautreferenz**;

**individuell** (die Punkte nach individuell bestimmter Scharnierachse);

**kinematisch** (die Punkte beziehen sich auf die kinematische Achse bzw. auf das kinematische Zentrum nach Kohno/Pröschel/Naeije).



Arbiträre Einstellung nach Systemvorgabe auf die Patientenhorizontale (PH) beim Artex®-System in Kombination mit dem Cadiax® Compact 2 (Abbildung: Ahlers)



Arbiträre Einstellung nach Systemvorgabe auf die Frankfurter Horizontale beim Gamma Dental Reference AB in Kombination mit dem Cadiax® Compact 2 (Abbildung: Ahlers)

### ► Ausführung dynamischer Bewegungen

Für die Beurteilung von Kieferbewegungen ist es wichtig, zu wissen, wie diese durchgeführt wurden - die resultierenden Verläufe der Unterkieferbewegung sind davon abhängig. Damit Sie und Dritte die aufgezeichneten Bewegungen später korrekt einschätzen können dokumentieren Sie an dieser Stelle, wie Sie die dynamischen Unterkieferbewegungen ausgeführt haben bzw. gleich ausführen werden:

- **ungeführt**
- **geführt** – hier übt der Untersucher bei der Exkursion eine (beispielsweise nach lateral gerichtete) Kraft auf den Unterkiefer aus.

Auch hinsichtlich der im Bewegungsverlauf eingenommenen Zahnkontakte gibt es zwei Alternativen:

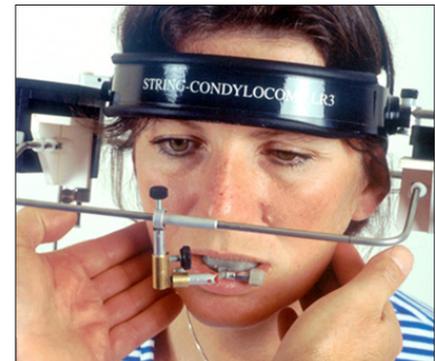
- **Bewegungen mit Zahnkontakt** können Sie nur bei paraokklusaler Adapterbefestigung ausführen lassen. Diese Aufzeichnungen zeigen Ihnen den Einfluss von Okklusionskontakten auf die Unterkieferbewegung. Sinnvoll kann dies bei der Aufzeichnung der Kondylenbahnneigung und der Bennettbewegung sein.

Beispiele für die geführte Bewegung des Unterkiefers:



Mediale Kompression rechts.

Kraniale Kompression beidseits bei der maximalen Kieferöffnung.



(Abbildungen: Christiansen)

- ▶ **Bewegungen ohne Zahnkontakt** erlauben Ihnen hingegen keine Rückschlüsse hinsichtlich okklusaler Einflüsse auf den Bewegungsverlauf des Unterkiefers. Dafür erfolgen Sie aber auch frei von Einflüssen durch die Okklusion. Ungeführte Bewegungen sind vor allem beim Aufzeichnen der freien Öffnungs- und Schließbewegung wichtig, um zu erkennen, wie die Muskulatur allein die Kieferbewegung führt, und ob das koordiniert abläuft – oder nicht.

### **Expertentipp: Kombinieren Sie beide Aufzeichnungsformen!**

Besonders effektiv und aussagekräftig ist die Kombination der Protrusion und Laterotrusion mit Zahnkontakt und der Öffnungs- und Schließbewegung ohne Zahnkontakt. Damit können Sie erkennen, ob Patienten den Zahnkontakt gebrauchen, um eine mangelhafte muskuläre Koordination auszugleichen. Sie erkennen dies an den gleichmäßigeren Kieferbewegungen und Weg-Zeit-Diagrammen mit Zahnkontakt, verglichen mit den Öffnungs- und Schließbewegungen ohne Zahnkontakt. Prüfen Sie in diesen Fällen, ob in aktuellen nicht-instrumentellen Untersuchungen Befunde vorliegen, die auf eine Insuffizienz des tiefen stabilisierenden Systems hinweisen. Diese Befunde finden Sie in CMDstatus (Menü Orthopädisches Screening) und in CMDmanu (Schmerzen im Nacken bei isometrischer Anspannung, vor allem bei der Protrusion gegen Widerstand).

### ► Adapterbefestigung

Technische Grundlage: Zur Befestigung des Unterkieferbogens an der Unterkieferzahnreihe sind für extraoral messende Registriersysteme entsprechende Adapter erforderlich. Hinsichtlich ihrer Geometrie werden diese nach ihrer Geometrie unterschieden in periokklusale und paraokklusale.

**Paraokklusale Adapter** passen Sie zunächst mittels plastischer Kunststoffe vestibulär an die Unterkieferzähne an und fixieren diese beim klassischen Vorgehen mittels Befestigungszement (Carboxylatzement) an der Unterkieferzahnreihe.

Beim modifizierten Verfahren nach Ahlers (J CranioMandib Funct. 2009;1:241-50.) ist der Befestigungszement verzichtbar; dafür ist zusätzlich eine Abdeckung der Zahnreihe während der Anpassung obligat. Für Ihre Patienten ist diese Vorgehensweise zumeist angenehmer, weil keine geschmackliche Beeinträchtigung durch Zemente erfolgt und dieser nicht wieder entfernt werden muss.

Unabhängig von dieser Frage ist bei beiden Ausführungsvarianten das praktische Vorgehen überdurchschnittlich schwierig, vergleichen mit der Verwendung periokklusaler Adapter – sozusagen als Normalfall der Abrechnung.



Paraokklusaler Adapter (Abbildung: Ahlers)

**(Peri-) okklusale Adapter** umschließen die Unterkieferzähne ringsum und bedecken dabei die Kauflächen. Zur Befestigung können Sie (statt früher Abdruckgips) heute Registriersilicone mit niedriger Shore Härte einsetzen. Im Vergleich zur paraokklusalen Adapterbefestigung ist die Aussagekraft des Verfahrens in zweierlei Hinsicht eingeschränkt:

Die Wirkung okklusaler Faktoren lässt sich nicht erkennen und auswerten.

Bewegungsphänomene zu Beginn der Kieferöffnung und am Ende der Kieferschließbewegung sind nicht erkennbar, weil die Abdeckung der Kaufläche einen Bewegungsbeginn und ein Bewegungsende in leicht aufrotierter Kieferposition erzwingt.



Periokklusaler Adapter (Abbildungen Gamma Med. Wiss. Fortbildungs-GmbH)

### 3 Start

Einer der entscheidende Schritte im Rahmen der funktionellen Bewegungsanalyse ist die Beurteilung der Bewegungsverläufe mit Bezug auf den Start- und Endpunkt der Bewegung.

Ziel der Beurteilung ist die Prüfung, wie stabil die Patienten die kalibrierte Position initial halten und aus der Schließbewegung wieder treffen. Im Gegensatz zur Kondylenpositionsanalyse wird hierbei die Ruheoszillation der Kieferposition sowie die Stabilität der aus der Bewegung heraus eingenommenen Position bestimmt.

Voraussetzung für die funktionelle Beurteilung der Bewegungsverläufe sind Informationen

- ▶ **zur Startposition**, aus der die Bewegungen erfolgten,
- ▶ **zur Art und Weise der Startkalibrierung** und deren Ergebnis und
- ▶ **zu der Frage, wie stabil die Bewegung** zu Bewegungsbeginn war.

Die folgenden Punkte beschreiben diese Parameter und ihre Erfassung.

### 3.1 Startposition

Hinsichtlich der Startposition für die Bewegungsaufzeichnung ist der Normalfall ist eine Aufzeichnung ausgehend von der **aktuellen Kiefer- und Kondylenposition**. Für die Beurteilung der Stabilität der Startposition bei den nachfolgenden Aufzeichnungen ist es wichtig zu wissen, wie stabil die Okklusion verschlüsselt ist:

- ▶ eindeutig verschlüsselt (Interkuspitationsposition, IK)
- ▶ instabil verschlüsselt (eingenommene habit. Okklusion, HO).

Den Unterschied erkennen Sie durch Auswertung der zu dem Untersuchungszeitpunkt verfügbaren aktuellen Zahnmodelle.

Alternativ kann es im Behandlungsverlauf sinnvoll sein, als Startposition eine per eingesetzter Okklusionsschiene eingestellte **therapeutische Kieferposition** zu wählen. Tragen Sie die Position mit der Bezeichnung ein, die Sie in Ihrer Praxis nutzen. In der Regel ist es die Kombination aus der Art Kieferposition (z.B. zentrische Kieferrelation, abgekürzt „ZR“) mit dem jeweils aktuellen Datum.

Bei der **Aufzeichnung mit eingesetzter Schiene** hängt die Stabilität der Kieferposition u.a. von der okklusalen Gestaltung der Schiene ab. Dokumentieren Sie daher als Unterpunkt, ob die Kaufläche der Okklusionsschiene plan oder mit einem deutlich verschlüsselnden Höcker-Fossa-Relief versehen ist.

#### Startposition

- Aktuelle Kieferposition                      Position .....
- Therapeutische Kieferposition              Position .....
- Okklusionsschiene mit planer Kaufläche
- Okklusionsschiene mit Höcker-Fossa-Relief

Optionen zur Startposition (Ausschnitt aus dem Befundbogen)

Ausführung: Stellen Sie zwei Parameter bei der Untersuchung sicher:

- ▶ Die Halswirbelsäule sollte in einer physiologischen Stellung stehen, und
- ▶ Die Bewegung beim Öffnen + Schließen sollte mit einheitlicher Geschwindigkeit erfolgen.

**Begründung:** Der Grund hierfür liegt darin, dass die kondylären Bewegungsmuster im Fossa-Diskus-Kondylus-Komplex von der Geschwindigkeit der Schließbewegung des Unterkiefers und der Kopfhaltung abhängen: Je langsamer die Schließbewegung des Unterkiefers erfolgt, umso mehr beeinflusst die Kopfhaltung diese Schließbewegung. Achten Sie daher im weiteren Verlauf auf eine physiologische Stellung der Halswirbelsäule und in dieser Stellung auf eine möglichst gleichbleibende Schließgeschwindigkeit (vorheriges Üben mit dem Patienten).



Aufzeichnung der Öffnungsbewegung ausgehend bei Ausrichtung der Halswirbelsäule in einer physiologischen Stellung (Abbildung: Ahlers)

### 3.2 Startkalibrierung

Damit ein Messsystem korrekt arbeiten kann muss es initial kalibriert werden. Führen Sie daher zu Beginn der instrumentellen Bewegungsaufzeichnungen eine Startkalibrierung durch. Bei elektronischen Registriersystemen legen Sie dabei den Nullpunkt fest, indem Sie den Patienten zubeißen lassen und diese Kieferposition als Nullpunkt definieren. Sie können auch eine Phase der Ruhe ohne willkürliche Bewegungen abwarten. Profis speichern in dieser Position eine erste Aufzeichnung als „Zentrikstabilitätsanalyse“ und können so rekapitulieren, ob Patienten die von Ihnen unbeeinflusst eingenommene Kieferposition halten können – oder nicht.

Bei **paraokklusaler Adapterbefestigung** definieren Sie als Nullpunkt in der Regel die Interkuspitationsposition. Alternativ können Sie eine therapeutische Kieferposition durch eine entsprechende Positionierungsschiene auch während der Registrierung einstellen.

Bei **periokklusaler Adapterbefestigung** ist keine Interkuspitation möglich. Damit nicht der periokklusale Adapter eine bestimmte Kieferposition erzwingt stellen Sie sicher, dass in diesem Fall auch kein Okklusionskontakt auf der Oberseite des Löffeladapters besteht. Eine Auswertung von Einflüssen der Okklusion auf die Kondylenposition ist hier unmöglich.

#### Startkalibrierung

- Nullpunkt gehalten
- Abweichung vom Nullpunkt belassen
- nach Abweichung vom Nullpunkt Neukalibrierung

Optionen zum Bewegungsbeginn (Ausschnitt aus dem Befundbogen)

Im weiteren Untersuchungsverlauf prüfen Sie die Stabilität der Kondylenposition am Ende der verschiedenen Kieferschlussbewegungen. Auswerten können Sie diese Aufzeichnungen nur mit dem Wissen über die initiale Stabilität des Nullpunktes, denn nur mit diesem Wissen können Sie beurteilen, ob zum Bewegungsende Änderungen der Kieferposition eingetreten sind. Als Ergebnisse gibt es dabei folgende Möglichkeiten:

**Nullpunkt gehalten:** Die Kondylen stehen nach der Ruhephase weiterhin im kalibrierten Nullpunkt – dann ist alles klar.

Wenn Ihr Patient bzw. Ihre Patientin nach einer Ruhephase die Kondylenposition noch ändert haben Sie zwei Alternativen:

**Abweichung vom Nullpunkt belassen:** Entweder belassen Sie die Abweichung, um diese Verlagerung als relevante klinische Information beizubehalten und dokumentieren dies hier, damit nicht der Eindruck einer fehlerhaften Startkalibrierung entsteht.

**Nach Abweichung vom Nullpunkt Neukalibrierung:** Oder Sie gehen davon aus, dass die erste Zuordnung des Unterkiefers fehlerhaft war und der Patient sie korrigiert hat und kalibrieren das Messsystem mit einer neuen Startposition neu.

Geschafft! Auf der folgenden Seite folgt jetzt die erste Auswertung des Bewegungsverhaltens in CMDtrace...

### 3.3 Bewegungsbeginn

Für die Auswertung des Bewegungsbeginns haben Sie die wichtigen Ausgangsinformationen bereits in den Menüpunkten Instrument und Setup erfasst. Sie können damit auch später nachvollziehen, ob die Kieferbewegung genau im kalibrierten Nullpunkt startet und wenn nicht, ob Sie eine Abweichung bewusst beibehalten haben - etwa um zu zeigen, dass es nach erstem kalibrierenden Kieferschluss zu dieser Abweichung kam.

Für die Auswertung der Zentrikstabilität zu Beginn der Kieferbewegung prüfen Sie nun, ob die Position zu Bewegungsbeginn bei den Kieferbewegungen stabil blieb oder nicht. Geometrisch betrachten Sie also das Ausmaß der Oszillation um den zuvor kalibrierten Nullpunkt.

- ▶ **Instabil** ist die die Kondylenposition ab einer Abweichung deutlich über 0,3 bis 0,4 mm in den spezifischen Raumrichtungen (frontal, sagittal, horizontal).
- ▶ **Stabil** ist sie darunter.

Hinweis: Im Grunde zählt diese Auswertung bereits zur Beurteilung der kondylären Stabilität und ist daher im ausgedruckten Untersuchungsbogen auch dort erfasst. Aus Gründen der Untersuchungsergonomie und infolge des unterschiedlichen Platzangebotes in den verschiedenen Programmseiten von CMDtrace ist die einleitende Feststellung aber in dieses Menü verlagert. Die nachfolgenden Befunde erheben Sie dann im nachfolgenden Menüpunkt „Stabilität“.

| rechts  | links   |
|---|---|
| <b>Bewegungsbeginn</b><br>Oszillation um Startpunkt<br><input type="radio"/> stabil<br><input type="radio"/> instabil | <b>Bewegungsbeginn</b><br>Oszillation um Startpunkt<br><input type="radio"/> stabil<br><input type="radio"/> instabil |

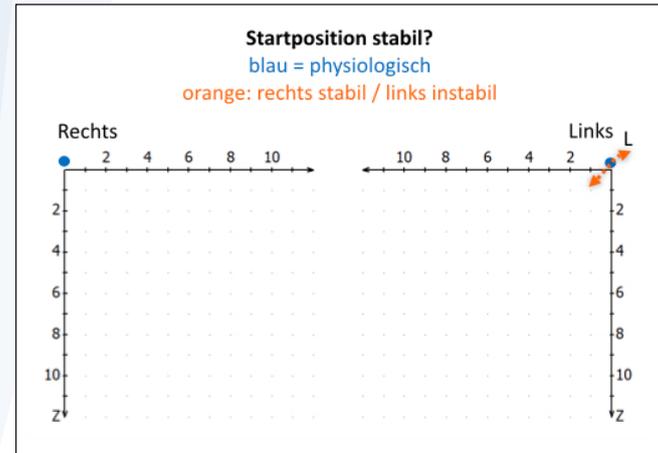
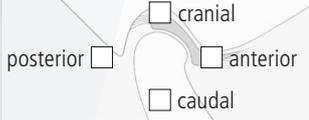
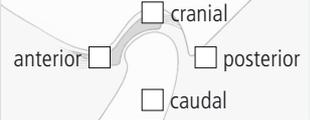
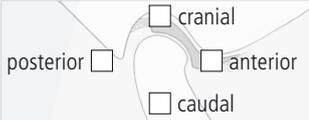
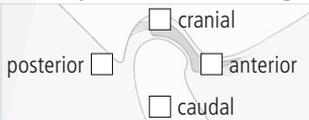


Illustration der Befunde (sagittal) bei stabiler (rechts) und instabiler Kondylenposition vor Bewegungsbeginn. (Abbildung: Ahlers)

## 4 Stabilität

Mit der Analyse der kondylären Stabilität prüfen Sie, ob Patienten die kalibrierte Startposition halten und am Bewegungsende wieder einnehmen.

Bewerten Sie hierfür die Übereinstimmung der Position des jeweiligen Kondylus am Anfang und am Ende der Unterkieferbewegung mit der Position, die Sie vorab als Nullposition kalibriert haben. Der Kern der Untersuchung ist also die Auswertung am Anfang der Kieferöffnung und wiederum gegen Ende der Kieferbewegung. Im Gegensatz zur Kondylenpositionsanalyse (siehe CMDfact®-Modul CMD3D®), welche die Kieferposition in Statik erfasst erfolgt hier die Auswertung in der Bewegung bzw. aus der Bewegung heraus. Wie bei der Kondylenpositionsanalyse gelten dabei per se Abweichungen bis 0,3 mm als stabil, weil wir davon ausgehen, dass individuell eine kleine Variabilität vorkommt und dass zudem die Messtechnik eine gewisse Unruhe mit sich bringt. Dies könnte in der Zukunft durch induktive Messungen mit kleineren Sensoren anders werden.

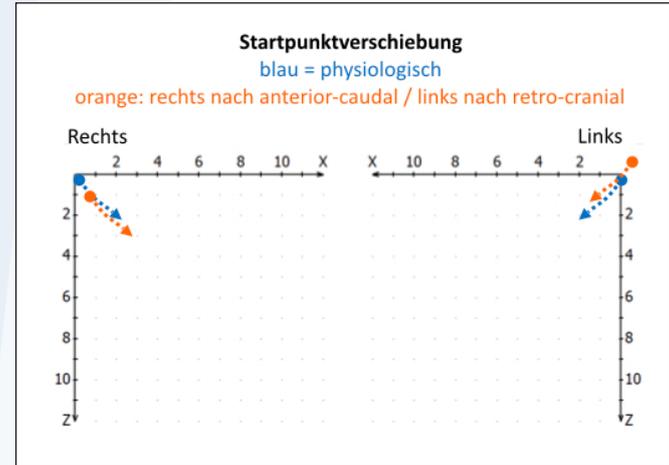
| rechts  | links  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> <b>Startpunkt-Verschiebung</b><br> | <input type="checkbox"/> <b>Startpunkt-Verschiebung</b><br> |
| <input type="checkbox"/> <b>Haltepunkt in Inkursion</b><br> | <input type="checkbox"/> <b>Haltepunkt in Inkursion</b><br> |
| <input type="checkbox"/> <b>Endpunkt-Verschiebung</b><br>   | <input type="checkbox"/> <b>Endpunkt-Verschiebung</b><br>   |

### 4.1 Startpunktverschiebung

Hintergrund: Die Startpunktverschiebung liegt vor, wenn wie im vorigen Punkt beschrieben, die Abweichung bei instabiler Startposition. Prüfen Sie dafür, ob der Startpunkt sich im Verlauf verschiedener Öffnungs- und Schließbewegungen verändert.

**Praktisches Vorgehen:** In CMDtrace erfassen Sie klar und strukturiert Abweichungen des Start- und Endpunktes und deren Richtung (kranial, kaudal, posterior, anterior), wobei Sie verschiedene Richtungen miteinander kombinieren können (z.B. nach anterior und kaudal). Den Betrag der Abweichung können Sie bei Bedarf aus der Gerätesoftware des Registriersystems auslesen.

Im weiteren Verlauf folgt dann die Frage, ob bei den Schließbewegungen ein Haltepunkt bzw. eine Haltezone mit verlängerter Aufenthaltsdauer erkennbar wird, und ob der Endpunkt der Schließbewegung vom ursprünglichen Bewegungsbeginn relevant abweicht.



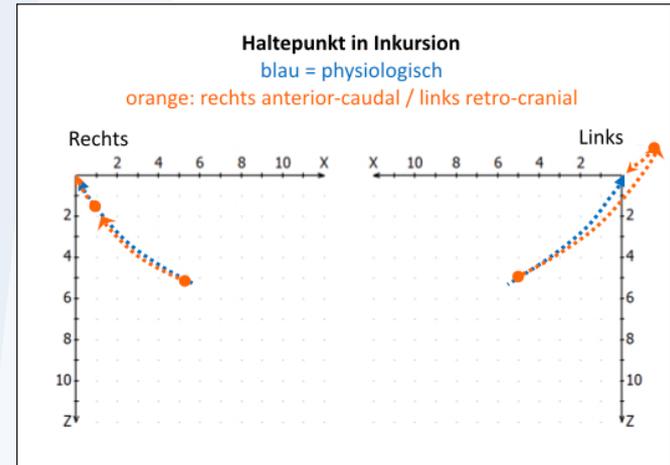
Startpunktverschiebung bei Bewegungsbeginn (rechts nach antero-caudal und links nach retro-cranial). (Abbildung: Ahlers)

## 4.2 Haltepunkt in Inkursion

Hintergrund: Die *Inkursion* ist die Einwärtsbewegung des Kondylus beim Kieferschluss. Ein *Haltepunkt in Inkursion* kennzeichnet dabei eine kurze Unterbrechung der Schließbewegung in die Interkuspitation (oder eine andere kalibrierte Nullposition). Der Kondylus verharrt an einer Position bzw. bewegt sich scheinbar erratisch in einem bestimmten Bereich; danach steigt die Bewegungsgeschwindigkeit wieder und der Kondylus bewegt sich weiter zum Endpunkt der Bewegung. Ein solches Bewegungsverhalten kann ein Hinweis darauf sein, dass der Kondylus in dieser Position physiologisch platziert wäre - aber durch die die Okklusion nicht stabil abgestützt wird. Beim Kieferschluss muss daher die Muskulatur den Unterkiefer noch weiter bewegen - zumeist nach retrokranal - bis eine okklusale Abstützung erreicht wird.

**Praktisches Vorgehen:** Mit dem Wissen um die Möglichkeit solcher Effekte werden Sie in der Regel schon beim Beobachten der Kieferschlussbewegung am Bildschirm solche „Haltepunkte“ oder „Haltezonen“ mit verlängerter Aufenthaltsdauer erkennen. Betrachten Sie die Befunde in der Software des Bewegungsanalysesystems zunächst bei 100 % Vergrößerung.

Vergleichen Sie in dem Fall die Bewegungsverläufe mehrerer Kieferschlussbewegungen. Wenn diese vom grundsätzlichen Bild her im Prinzip übereinstimmen erfassen Sie in CMDtrace die Existenz jenes Haltepunktes (der ja mehr eine Haltezone ist) mit der Richtung relativ zum Startpunkt per Mausklick. Den Betrag der Abweichung vom Startpunkt messen Sie in der Gerätesoftware Ihres Registersystems.

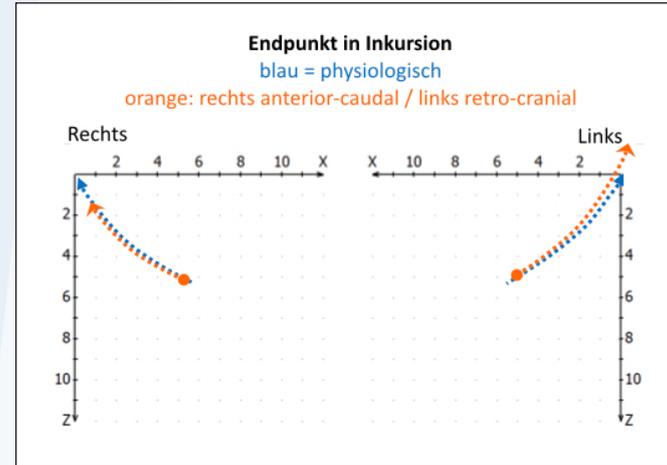


Ansteuerung eines Haltepunktes im Bewegungsverlauf  
 (rechts antero-caudal und links retro-cranial) (Abbildung: Ahlers)

## 4.3 Endpunktverschiebung in Inkursion

Hintergrund: Zuweilen haben Patienten sich angewöhnt, den Unterkiefer in einer Position zu halten, die für sie angenehm ist – zum Beispiel, um nicht die hinteren Kiefergelenkbereiche zu stark zu belasten. Bei der Kalibration des Registriersystems nehmen sie daher auch zunächst jene „angenehme“ bzw. antrainierte Position ein. In der Praxis fällt es Patienten aber schwer, aus dem Bewegungsverlauf heraus genau jene Position wieder zu treffen. So endet die Bewegung unter Umständen in der durch Interkuspitationsposition – oder in einer durch die hyperaktive Muskulatur determinierten Position.

- ▶ Eine solches Bewegungsverhalten deutet darauf hin, dass entweder die Interkuspitation instabil ist.
- ▶ Es kann auch sein, dass eine stabil verschlüsselte Okklusion vorliegt, aber nicht zur physiologischen Stellung des Kondylus-Diskus-Fossa-Komplexes passt und so bei maximaler Interkuspitation eine Kondylusverlagerung einstellt.
- ▶ Und es kann auch sein, dass die Ursache einer solchen Veränderung nicht im Zusammenhang mit der Okklusion liegt und allein die Muskulatur hier ihr Spiel spielt.



Vom Startpunkt abweichender Endpunkt  
 (rechts antero-caudal und links retro-cranial) (Abbildung: Ahlers)

Diese Frage ist nur im Kontext mit den anderen funktionsanalytischen Untersuchungen zu klären – genau deswegen werden diese Untersuchungen in CMDfact® zusammengeführt.

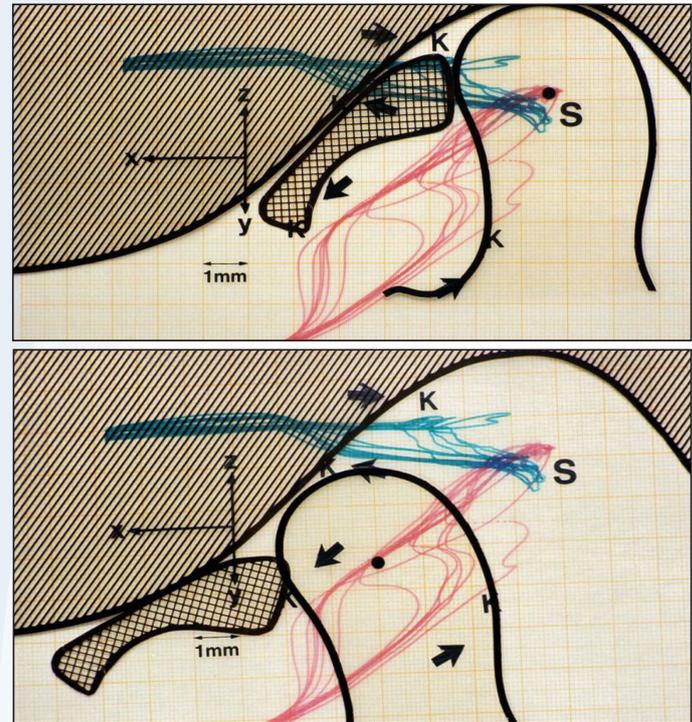
**Praktisches Vorgehen:** Prüfen Sie in der Gerätesoftware Ihres Registersystems, ob am Ende der Kieferbewegungen die kondyläre Position von der Startposition relevant abweicht. Eine solche Endpunktverschiebung liegt vor, wenn bei mehreren Untersuchungen eine in Richtung und Betrag ähnliche oder übereinstimmende Abweichung von der kalibrierten Startposition vorliegt. Klicken Sie in CMDtrace die Richtung der Abweichung(en) per Mausklick an; den Betrag der Abweichung messen Sie in der Gerätesoftware Ihres Registersystems.

## 5 Bewegung

Hintergrund: Die Auswertung des Verlaufes der Unterkieferbewegung erhielt durch Arbeiten von Farrar in den 70er Jahren des letzten Jahrtausends eine neue Funktion jenseits der Artikulatorprogrammierung. Farrar hatte entdeckt, dass man aus dem Verlauf kondylärer Bewegungen Rückschlüsse auf strukturelle intraartikuläre Veränderungen ziehen konnte.

Eine neue Dimension der Auswertung erschlossen dann die Entwicklung der *elektronischen Bewegungsaufzeichnung* durch Meyer und dal Ri. Die dreidimensionalen Bewegungsaufzeichnungen wurden damit um den Zeitverlauf als 4. Dimension erweitert. In Kombination mit der computer-gestützten Speicherung und Wiedergabe der Bewegungsdaten entstand so die neue Möglichkeit, Veränderungen der Bewegungsgeschwindigkeit in die Auswertung einzubeziehen.

Voraussetzung hierfür sind ein geeignetes Auswertungssystem und darauf angepasste Systeme für die Dokumentation und Auswertung. Mit den Publikationen von Ahlers, Bernhardt, Jakstat, Kordaß, Schindler, Türp und Hugger zur Auswertung computergestützter Bewegungsaufzeichnungen



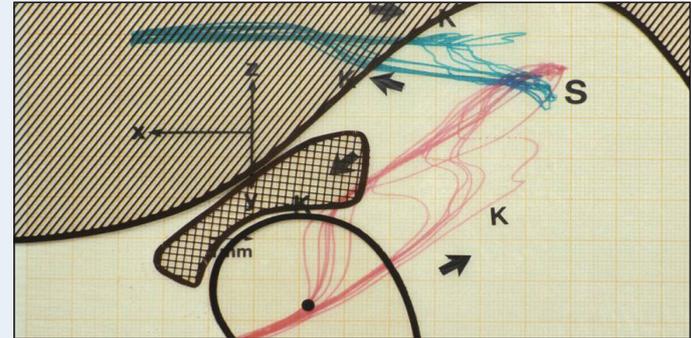
Fall 1, Ausgangssituation: Kondylus (schwarz) ist nach retrokranial verlagert in der Startposition S; Diskus ist nach anterior verlagert. Bewegungsbahnen: sagittal (rot), horizontal (blaugrün). Kieferöffnung: Der Kondylus schiebt den Diskus zunächst vor sich her. (Abbildungen: © Meyer)

im Journal of Cranoimandibular Function (CMF) und im International Journal of Computerized Dentistry (IJCD) sowie mit der AWMF-Leitlinie (S2k) „Instrumentelle Funktionsanalyse“ der DGFD und zahlreicher anderer Fachgesellschaften liegen die zahnärztlichen Voraussetzungen nunmehr vor.

Die Übertragung in die digitale Praxis ermöglicht CMDtrace, aufgeteilt in die Auswertung der Bewegungsverläufe in zwei Abschnitten:

**Bewegungskapazität / Bewegungsverlauf:** Diese Auswertung im Hinblick auf die Länge und Form des Bahnverlaufes und die Geschwindigkeit, mit der die Bewegungen der Kondylen erfolgten erlaubt Rückschlüsse auf mögliche intraartikuläre Veränderungen (siehe die nachfolgenden Unterpunkte auf dieser Seite von CMDtrace).

**Bewegungskoordination:** Die Auswertung der bilateralen Koordination der Kondylen folgt auf der folgenden Programmseite.



Fall 1, Reposition: Der Kondylus hat bei weiterer Kieferöffnung den Hinterrand des Diskus überwunden (erkennbar im deutlichen Versatz der roten sagittalen Bewegungsbahn nach kaudal und der grünen horizontalen Bahn nach medial) und steht nun in der pars intermedia des Diskus. (Abbildung: © Meyer)

### 5.1 Bahnlänge

Hintergrund: Die Auswertung der Bahnlänge bei der Kieferöffnung und beim Kieferschluss sucht vor allem nach auffälligen Abweichungen von der normalen Bahnlänge. Unterschieden Sie daher zwischen

- ▶ **auffällig verkürzter**,
- ▶ **normal** (physiologisch) langer und
- ▶ **auffällig verlängerter** Bewegungsspur.

Zu der Frage, welche Bahnlängen denn „normal“ sind, haben Kordaß, Bernhardt, Ratzmann, S. Hugger und A. Hugger eine klinische Studie durchgeführt (International Journal of Computerized Dentistry 2014;17(1): 9-20). Darin sind die Werte angegeben, die aufgrund der Normalverteilung „normal“ sind.

„Auffällig verkürzt“ sind demnach Bewegungsspuren, die unterhalb der 5% Perzentile liegen; dies entspricht Kondylenbahnlängen < 7,7 mm Länge.

„Auffällig verlängert“ sind die demnach Bewegungsspuren, die oberhalb der 95% Perzentile liegen; die entspricht Kondylenbahnlängen > 21,4 mm Länge. Diese Werte waren aber offenbar in der Stichprobe auffällig hoch. In der Praxis können Bewegungsspuren, die länger als 12 mm lang sind, als auffällig lang gelten.

Die Werte unterscheiden sich dabei auffällig nach Geschlechtern. Bei den zu kurzen Bahnlängen gelten demnach als „auffällig verkürzt“:

| rechts  | links   |
|---|---|
| <b>Bahnlänge (Öffnen/Schließen)</b><br><input type="radio"/> auffällig verkürzt<br><input type="radio"/> normal<br><input type="radio"/> auffällig verlängert<br><div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="background-color: #e0e0e0; width: 30px; height: 15px; margin-right: 5px;"></div> <input type="radio"/> linear<br/> <input type="radio"/> kurvilinear         </div> | <b>Bahnlänge (Öffnen/Schließen)</b><br><input type="radio"/> auffällig verkürzt<br><input type="radio"/> normal<br><input type="radio"/> auffällig verlängert<br><div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="background-color: #e0e0e0; width: 30px; height: 15px; margin-right: 5px;"></div> <input type="radio"/> linear<br/> <input type="radio"/> kurvilinear         </div> |
| <b>Bahnform</b><br><input type="radio"/> anterior konkav (kurvenförmig)<br><input type="radio"/> sprunghaft / 8-förmig<br><input type="radio"/> geradlinig<br><input type="radio"/> kaudal konvex (invers)<br><input type="radio"/> irregulär   | <b>Bahnform</b><br><input type="radio"/> anterior konkav (kurvenförmig)<br><input type="radio"/> sprunghaft / 8-förmig<br><input type="radio"/> geradlinig<br><input type="radio"/> kaudal konvex (invers)<br><input type="radio"/> irregulär   |

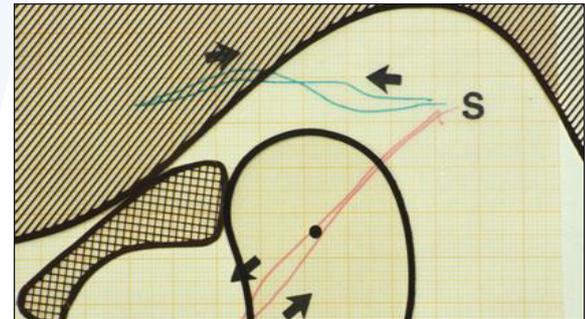
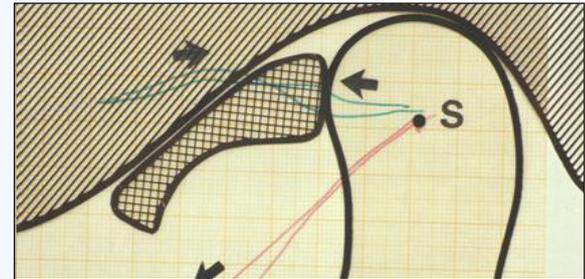
- ▶ bei Frauen: Bewegungsspuren < 8,5 mm Länge;
- ▶ bei Männern: Bewegungsspuren < 6 mm Länge.

Die Werte beziehen sich auf die Aufzeichnung ausgehend von arbiträren Referenzpunkten.

**Auffällige verkürzte kondyläre Bahnlängen** können Folge einer Schonhaltung zur Vermeidung von Gelenkschmerzen sein, beispielsweise bei bestehender Kapsulitis/Synovitis des jeweilig betroffenen Kiefergelenks. Eine Verkürzung der Bewegungsbahnen kommt häufig auch bei einer Diskusverlagerung ohne Reposition vor, insbesondere im akuten Fall.

**Auffällig verlängerte kondyläre Bahnlängen** sind häufig die Folge einer Lockerung der kapsulären Führung und/oder einer verstärkten Aktivierung des M. pterygoideus lateralis. Ersteres wäre einer Kondylushypermobilität zuzuordnen und ginge mit entsprechenden Befunden aus der Klinischen Funktionsanalyse einher. Letzteres könnte mit auffälligen Muskelbefunden in der Klinischen Funktionsanalyse und der Manuellen Strukturanalyse korrelieren.

**Messung der Bahnlänge in [mm]:** Technisch lassen sich die Bahnlängen der Bewegungsspuren zwischen verschiedenen Orten und Instrumenten sogar vergleichen. Dies setzt aber voraus, zu wissen, ob die aus der entsprechenden Gerätesoftware ausgelesene Bahnlänge einen linearen oder kurvilinearen Streckenwert darstellt. Daher ist eine Option vorgesehen, die diese Information mit erfasst.



Fall 2, Ausgangssituation: Kondylus (schwarz) ist nach retrocranal verlagert in der Startposition S; Diskus wieder nach anterior verlagert. KEINE Reposition („locked joint“): Der Kondylus konnte bei weiterer Kieferöffnung den Hinterrand des Diskus nicht überwinden, die Bewegungsbahn bei Kieferöffnung und Kieferschluss weist sagittal einen leichten Versatz auf, weicht horizontal aber vom physiologischen Verlauf ab (Abbildungen: © Meyer).

### 5.2 Bahnform

Hintergrund: Bestimmte strukturelle Veränderungen im Kiefergelenk verursachen charakteristische Bewegungsverläufe. Diese Befunde sind hoch spezifisch, dafür aber weniger sensitiv. Das heißt, wenn diese Verläufe tatsächlich auftreten liegt mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit die entsprechende gewebliche Veränderung auch wirklich vor. Das Fehlen entsprechender Befunde schließt die gewebliche Veränderung aber nicht aus.

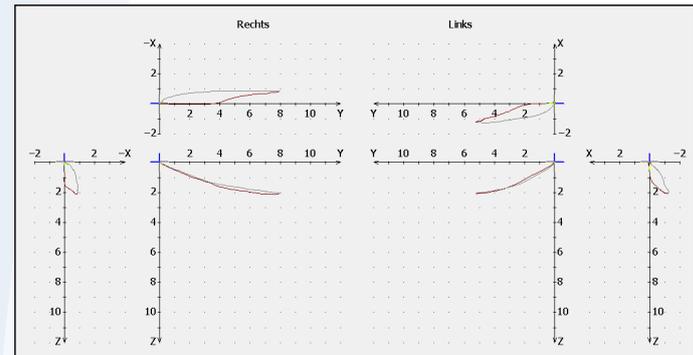
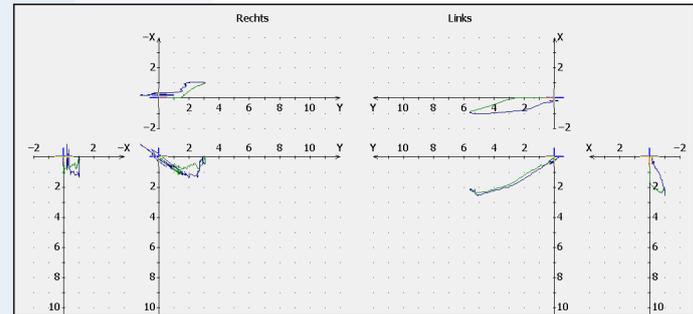
Praktisches Vorgehen: Untersuchen Sie daher die Bewegungsaufzeichnungen Ihrer Patienten und suchen Sie nach den nachfolgend aufgeführten typischen Bewegungsverläufen und dokumentieren diese durch Anklicken in CMDtrace, ggf. ergänzt durch Hinweise in den Notizen.

Es können bei den Bewegungen verschiedene Muster vorkommen:

**anterior konkav kurvenförmiger Verlauf:** Dieser Verlauf ist typisch für eine physiologische Kieferbewegung.

**sprunghafter / 8-förmiger Verlauf:** Die Bewegungsverläufe aus der Kieferöffnung und dem Kieferschluss kreuzen sich in Form einer „8“; dies deutet auf eine intraartikuläre Störung hin (Diskusverlagerung mit Reposition).

**geradliniger Verlauf:** Dieser Verlauf der Bewegungsbahn deutet auf eine intraartikuläre Störung in Form einer Diskusverlagerung ohne Reposition hin, u. U. auch auf „arthrotische“ Veränderungen. Wenn Sie sicher sein wollen, was „gerade“ oder „ungerade“ ist helfen ihnen die Untersuchungen



Oben: Irregulärer Bewegungsverlauf rechts in Protrusion mit Zahnkontakt zu Behandlungsbeginn

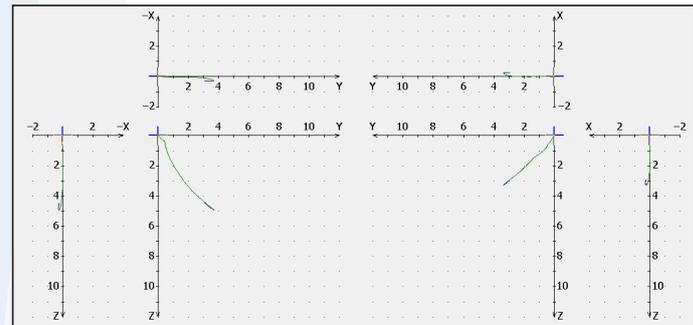
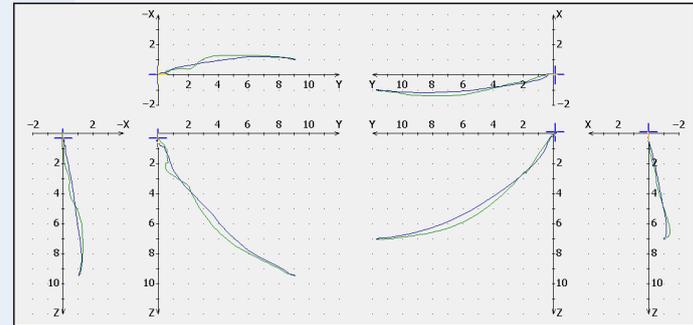
Unten: Regulärer Bewegungsverlauf rechts in Protrusion mit Zahnkontakt nach drei Monaten multimodaler Funktionstherapie  
(Abbildungen: Ahlers)

von Frau Kobs, damals Univ. Greifswald, jetzt wieder in Litauen: nach Ihren Studien ist die Unterscheidung zwischen geraden und anterior gekrümmten Gelenkbahnen auf Basis eines Krümmungsindex (K) möglich, errechnet aus dem Längenverhältnis der Sekante (d) durch den Anfangs- und Endpunkt der Bewegungsbahn einerseits und der maximalen Abweichung (a) der Bewegungsbahn von jener Sekante andererseits. Der Quotient  $a/d$  beschreibt den Krümmungszustand der Bahn. Dabei entsprechen Werte von  $K > 0,05$  einer gekrümmten Bewegung; Werte von  $K < 0,05$  sind „gerade“.

**kaudal konvexer (inverser) Verlauf:** Eine solche Bewegungsbahn ist typisch für eine Arthropathie in Form einer fortgeschrittenen „Kiefergelenkathrose“. Dazu passen würden entsprechende Gelenkgeräusche in der klinischen Funktionsanalyse und eine Asymmetrie in der Bewegungskoordination (siehe Folgeseite).

**Irregulär:** Darüber hinaus kommen irreguläre Bewegungsformen vor, die durch Strukturveränderungen im Kiefergelenkbereich und/oder ungewöhnliche Bewegungsabläufe des Unterkiefers, aber auch durch technische Artefakte bedingt sein können.

Die von Ihnen erhobenen Befunde speichert CMDtrace im Hintergrund, fasst die Befunde als Auswertung zusammen (siehe Menü „Auswertung“) und übermittelt die Befunde an den CMD DiagnosePilot. Damit können Sie ab diesem Zeitpunkt die Befunde aus der funktionellen Bewegungsanalyse mit zur Diagnosestellung heranziehen – und diese Befunde mit denen aus den nicht-instrumentellen funktionsanalytischen Untersuchungen abgleichen.



Oben: Sprunghafter / 8-förmiger Bewegungsverlauf rechts in Protrusion mit Zahnkontakt bei paraokklusaler Adapterbefestigung  
 Unten: Zu gerader (und zu kurzer) Bewegungsverlauf auf der linken Kieferseite (Abbildungen: Ahlers)

## 6 Koordination

Nach der Auswertung der Bewegungskapazität und des Bewegungsverlaufes (auf der vorherigen Programmseite von CMDtrace) erfolgt nun die Analyse der Bewegungskoordination an Hand verschiedener Diagramme. Diese Analyse erfasst die Parallelität der Bewegungsverläufe rechts und links, den Verlauf der Bewegungsgeschwindigkeit absolut sowie im Seitenvergleich rechts und links - die „bilaterale Koordination“.

**Hintergrund:** Die nachfolgenden Befunde sind als erste nur mit computergestützter Auswertung zu erheben – bei rein analoger Berechnung wäre der Zeitaufwand einfach zu hoch. Seit der Verfügbarkeit computergestützter Registrierungs-systeme sind solche Auswertungen hingegen praxistauglich geworden. Voraussetzung ist lediglich, dass Sie die Gerätesoftware Ihres Registrierungs-systems so einstellen, dass Sie Ihnen die nötigen Daten liefert. In dem Fall entstehen bei bzw. nach der Aufzeichnung zusätzlicher Bewegungen ohne Zahnkontakt spezielle Weg-Zeit-Diagramme (mathematisch: „Ableitungen“).

Weg-Zeit-Diagramme sowie Achsdiagramme allein ermöglichen die Einschätzung der neuromuskulären Koordination des craniomandibulären System und damit eine Bewertung der Qualität der Bewegungskoordination des Unterkiefers.

SCIENCE

WISSENSCHAFT



M. O. Ahlers

M. O. Ahlers<sup>1</sup>, O. Bernhardt<sup>2</sup>, H. A. Jakst<sup>3</sup>, B. Kordaß<sup>4</sup>, J. C. Türp<sup>5</sup>, H. J. Schindler<sup>6</sup>, A. Hugger<sup>7</sup>

### Motion analysis of the mandible: concept for standardized evaluation of computer-assisted recording of condylar movements Bewegungsanalyse des Unterkiefers: Konzept zur standardisierten Auswertung computerunterstützter Aufzeichnung kondylärer Bewegungen

#### Zusammenfassung

Die Methode der Aufzeichnung von Bewegungen des Unterkiefers ist in der zahnärztlichen Therapie schon lange eingeführt. Hier dient sie zur Erfassung der kondylären Bewegung am Patienten als Grundlage der patientenge-treuen Programmierung individuell einstellbarer Artikulato-ren. Davon abweichend besteht inzwischen zudem die Möglichkeit, aus erstellten kondylären Bewegungs-aufzeichnungen des Unterkiefers auf die morphologische Situation im Kiefergelenkbereich Rückschlüsse zu ziehen. Die jüngste Nutzungsmöglichkeit von Aufzeichnungs-daten zur Bewegungsanalyse besteht im diagnostischen und behandlungsbegleitenden Funktionsmonitoring des

#### Abstract

The method of recording mandibular movements was first introduced in dentistry as a tool for treatment planning decades ago. The objective is to capture condylar movement data for patient-specific programming of articulators with individualized adjustment. Apart from that, current systems now enable the clinician to analyze the acquired man-dibular/condylar movement recordings in order to obtain insight into the morphological situation of the temporomandibular joint region. The latest application for analysis of the recorded jaw-motion data allows a functional monitoring of the patient as a diagnostic and surveillance tool accompanying treatment. Parameters for the analysis

1. PD. Dr. med. dent. M. O. Ahlers, CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf sowie Poliklinik für Zahnerhaltung, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf
2. Prof. Dr. med. dent. Olf Bernhardt, Poliklinik für Zahnerhaltung, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
3. Prof. Dr. med. dent. Holger A. Jakst, Vorklinische Prothetik und Werkstoffkunde, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universität Leipzig

4. Prof. Dr. med. dent. Bernd Kordaß, Abteilung für Digitale Zahnmedizin – Okklusions- und Kau-funktionsstörungen, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
5. Prof. Dr. med. dent. Jens C. Türp, Klinik für Rekonstruktive Zahnmedizin und Myoarthroplastien, Universitätsklinik für Zahnmedizin, Universität Basel, Schweiz
6. Prof. Dr. med. dent. Hans-Jürgen Schindler, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Universitätszahnklinik, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
7. Prof. Dr. med. dent. Alfons Hugger, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Westdeutsche Kieferklinik, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Zeitschrift für Kranio-mandibuläre Funktion 2014;6(4):299-312

293

In Kombination mit den Auswertungen der Länge und Form der Bewegungsspuren (siehe „Bewegung“) ermöglichen diese Daten eine strukturierte und nachvollziehbare Beurteilung der funktionellen Situation.

Besonders hilfreich sind derartige Auswertungen für die Überprüfung der Adaptation an eine bestimmte Kieferposition. Zudem lässt sich die Adaptation an eine bestimmte vertikale Dimension prüfen – typischerweise nach vorangegangenem Verlust der Interkuspidation.

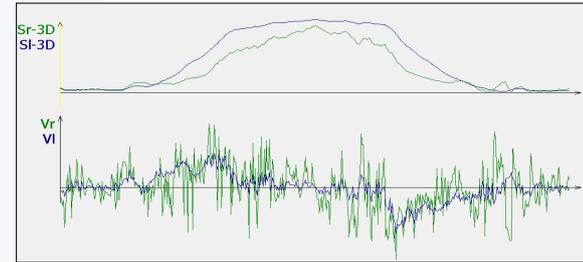
CMDtrace ermöglicht Ihnen all diese Auswertungen. Die Hinweise in den folgenden Punkten dieser Anleitung helfen Ihnen, die entsprechenden Diagramme zu verstehen, korrekt zu interpretieren und in CMDtrace zu erfassen. So können Sie herausfinden, ob die fragliche Kieferposition physiologisch adaptiert ist. In den Texten und Abbildungen auf den nachfolgenden Unterpunkten finden Sie die verschiedenen Verläufe beschrieben und typische Diagramme skizziert. Grundlage ist die Publikation dieser Inhalte durch eine internationale Arbeitsgruppe 2015.

### 6.1 Bewegungskoordination im Weg-Zeit-Diagramm

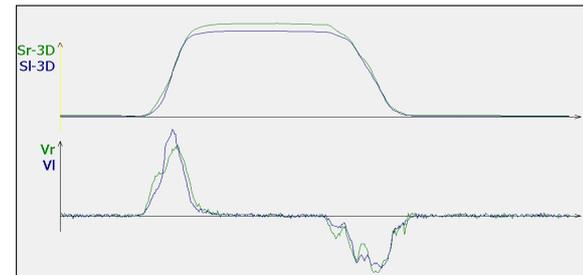
Die Geschwindigkeit der Kondylen im Bewegungsverlauf wird in Form von Weg-Zeit-Diagrammen ausgewertet. Diese spiegeln die Koordination der Bewegungsausführung objektiver wieder.

**Grundlage:** Voraussetzung hierfür ist eine entsprechende Aufbereitung der Messdaten in der Gerätesoftware des Registriersystems. Sie kommen also nicht umhin, zunächst die Gerätesoftware so einzustellen, dass Sie hinterher in den aufgezeichneten Bewegungen etwas erkennen. Informationen hierzu erhalten Sie vom Hersteller Ihres Registriersystems – sowie sukzessive auf der dentaConcept Website im Bereich Software -> CMDtrace.

**Bewegungsverlauf:** Ein Diagramm sollte den Bewegungsverlauf als Abweichung der Kondylenposition vom kalibrierten Startpunkt (=Weg) über die Zeit auftragen. Das entsprechende Diagramm in der Abbildung rechts zeigt, wie dabei in der Öffnungsbewegung der Abstand vom Startpunkt zunimmt. Es folgt eine plateauartige Ruhephase, in der die Kieferposition sich bei geöffnetem Mund zeitweise nicht ändert. In der anschließenden Kieferschlussbewegung kehren die Kondylen zum Ausgangspunkt der Bewegung oder in dessen Nähe zurück. Im Diagramm entspricht das einer Rückkehr des Kurvenverlaufs mit einer Annäherung an die Abszisse. Eine typische pathologische Abweichung ist die Nicht-Übereinstimmung zwischen dem rechten und linken Kondylus – die wird hier viel besser erkennbar. Eine weitere typische patho-



Weg-Zeit-Diagramme: Diskordinierter Bewegungsverlauf zu Behandlungsbeginn (oben: Sr-3D/Sl-3D = Gesamstrecke rechts bzw. links) und unphysiologischer Geschwindigkeitsverlauf (unten: Vr/Vl: Geschwindigkeit (engl. „velocity“) rechts bzw. links)



Weg-Zeit-Diagramme: Koordinierter Bewegungsverlauf nach 3 Monaten multimodaler Funktionstherapie (oben: Sr-3D/Sl-3D = Gesamstrecke rechts bzw. links) und unphysiologischer Geschwindigkeitsverlauf (unten: Vr/Vl: Geschwindigkeit (engl. „velocity“) rechts bzw. links). (Abbildungen: Ahlers)

logische Abweichung kommt in der Kieferschlussbewegung vor, die zunächst unvollständige Rückkehr des Kondylus an den Startpunkt, erkennbar an der unvollständigen Annäherung des Kondylus an die Abszisse.

**Geschwindigkeitsverlauf:** Ein zweites Diagramm gibt die Veränderung der Bewegungsgeschwindigkeit im Bewegungsverlauf wieder. Jener Geschwindigkeitsverlauf ist in einer typischen Öffnungs- und Schließbewegung durch die folgende Abfolge von Merkmalen gekennzeichnet:

- ▶ Initiale Ruheoszillation um den kalibrierten Nullpunkt (kleiner = physiologischer)
- ▶ Zunahme der Geschwindigkeit während der Kieferöffnung
- ▶ Rückgang der Geschwindigkeit beim Erreichen der maximalen Öffnungsposition
- ▶ Zwischenzeitliche Ruhe(-oszillation) nach Erreichen der maximalen Kieferöffnung
- ▶ Zunahme der Geschwindigkeit zu Beginn der Kieferöffnung
- ▶ Rückgang der Geschwindigkeit zum Ende der Bewegung.
- ▶ Ruheoszillation nach Bewegungsende.

Ein physiologischer Geschwindigkeitsverlauf weist einen weitgehend **eingipfligen Verlauf** der Geschwindigkeitskurve bei Kieferöffnung und -schluss auf.

**Zwei- und mehrgipflige Geschwindigkeitsprofile** sind hingegen Ausdruck temporärer Geschwindigkeitsverluste infolge arthrogener, mitunter auch auf myogener Probleme.

| rechts   | links  |
|--|--|
| <b>Geschwindigkeitsverlauf</b><br><input type="radio"/> eingipflig (normal)<br><input type="radio"/> zweigipflig<br><input type="radio"/> mehrgipflig<br><small>Details s. Notizen</small> | <b>Geschwindigkeitsverlauf</b><br><input type="radio"/> eingipflig (normal)<br><input type="radio"/> zweigipflig<br><input type="radio"/> mehrgipflig<br><small>Details s. Notizen</small> |

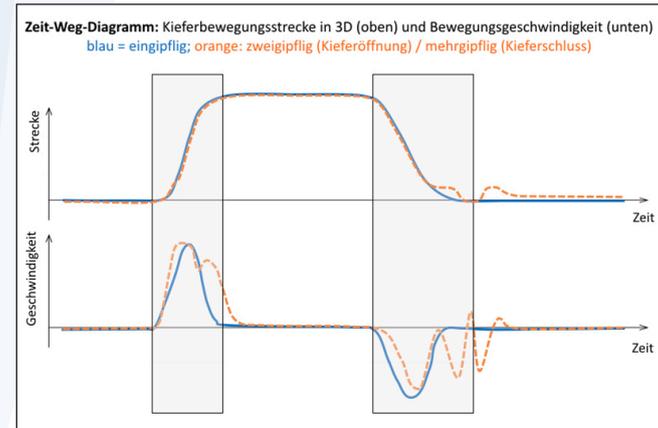


Illustration eines Zeit-Weg-Diagrammes.

Der untere Plot zeigt im blauen Linienzug einen eingipfligen Verlauf und im orangenen Linienzug einen zweigipfligen und dann einen mehrgipfligen Verlauf (Abbildung: Ahlers)

## 6.2 Bewegungs- bzw. Kondylenkoordination im Achsdiagramm

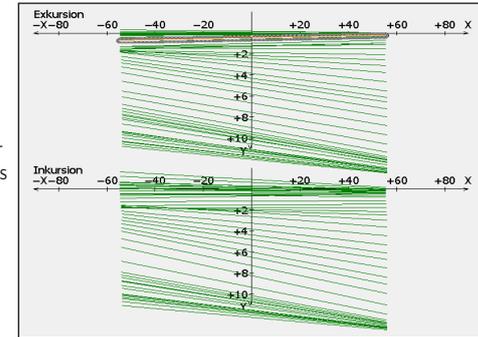
Die Qualität der Bewegungskoordination zeigt sich neben der absoluten Veränderung der Bewegungsgeschwindigkeit auch in einem Vergleich des Bewegungsverlaufes der Kondylen rechts und links.

In der Regel ermöglichen computergestützte elektronische Registersysteme dafür spezielle **Achsdiagramme**, in denen jeweils ein zeitgleicher Messpunkt im Bereich des rechten und linken Kondylus durch eine Linie verbunden sind. Brems die Bewegung auf einer oder beiden Seiten ab so entsteht in dem Bereich eine Lini Verdichtung. Diese signalisiert, dass der betreffende Kondylus zeitweilig an Bewegungsgeschwindigkeit verliert. Hierfür kommen verschiedene Ursachen in Betracht:

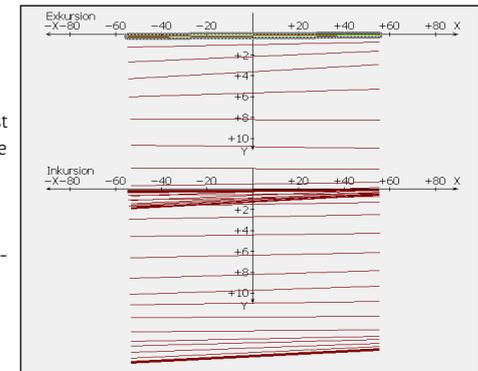
- ▶ Auftreffen des Kondylus auf ein anteriores Hindernis (beispielsweise der Hinterrand eines nach anterior verlagerten Discus articularis), oder
- ▶ Erhöhung des Reibungswiderstandes des Kondylus durch eine vermehrte vertikale Last- und Krafteinleitung in den Kondylus.

Dieses kondyläre geometrische Bewegungsdiagramm ist viel differenzierter und aussagekräftiger als die Betrachtung frontaler Abweichungen in der klinischen Funktionsanalyse.

Achsdiagramm:  
Deutliche Ungleichmäßigkeit in der Aufsicht rechts/ links in der initialen Diagnostik, mit Lini verdichtung rechts und Nachlauf des rechten Kondylus kurz nach Bewegungsbeginn.



Achsdiagramm der gleichen Patientin nach multimodaler Funktionstherapie über 3 Monate: Es ist nur noch eine leichte Ungleichmäßigkeit rechts/links in der Aufsicht erkennbar, aber keine Lini verdichtung und kein Nachlauf eines der Kiefergelenke mehr vorhanden.  
(Abbildungen: Ahlers)



Der Grund hierfür liegt darin, dass Patienten Einschränkungen der kondylären *Translation* durch vermehrte *Rotation* teilweise ausgleichen können. Die Intensität einer Blockade im Gelenkbereich wird daher bei rein frontaler Betrachtung leicht unterschätzt.

Jenseits einzelner Linienverdichtungen als Befund lässt sich deren Gesamtheit wie folgt zusammenfassen:

- ▶ **weitgehende Gleichmäßigkeit/Parallelität**,
- ▶ **leichte Ungleichmäßigkeit/Disparallelität**  
mit Nachlauf der linken oder rechten Seite
- ▶ **deutliche Ungleichmäßigkeit/Disparallelität**  
mit Nachlauf der linken oder rechten Seite.

### Kieferöffnung

#### Kondylenkoordination

- gleichmäßig
- Linienverdichtung rechts
- Linienverdichtung links

### Kieferschluss

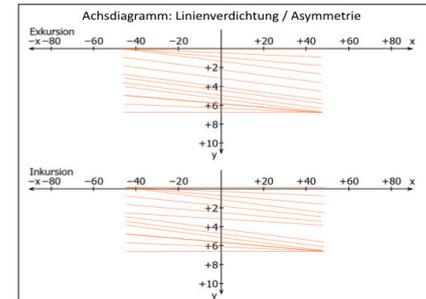
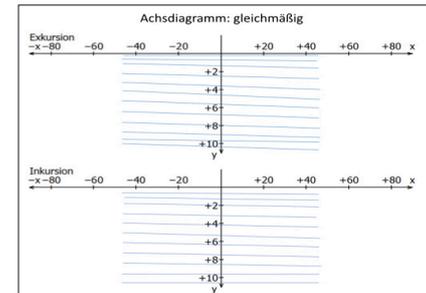
#### Kondylenkoordination

- gleichmäßig
- Linienverdichtung rechts
- Linienverdichtung links

Illustrationen eines Achsdiagrammes

Beide Plots zeigen einen gleichmäßigen Abstand der Linien.

Beide Plots zeigen Linienverdichtung und ungleichmäßige Abstände.  
(Abbildungen: Ahlers)



## 7 Auswertung

Die Auswertung der Bewegungsaufzeichnungen erfolgt in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung (siehe Indikationen).

Die **Artikulatorprogrammierung** nimmt dabei eine Sonderstellung ein. Diese älteste Anwendung ist in der deutschen Gebührenordnung für Zahnärzte (GOZ) aus dem Jahre 2012 in einer eigenen Leistung (GOZ 8065) genau beschrieben und dabei von anderen möglichen Analysen explizit abgegrenzt.

Die **funktionelle Bewegungsanalyse** hingegen fasst die übrigen Auswertungen zur Charakterisierung der Kieferbewegung und zur Beantwortung der klinischen Fragestellungen (Indikation) zusammen. Der Auswertungsprozess beginnt hier mit einer Dokumentation der Voreinstellungen, gefolgt von einer Befundung der Bewegungsaufzeichnungen (siehe vorangehende Programmseiten). Es folgt eine zusammenfassende Auswertung jener Befunde zur Beantwortung der im Menü Instrumente unter dem Punkt Indikation festgelegten Fragestellungen (siehe Unterpunkt funktionelle Bewegungsanalyse). Den Abschluss bildet die Zuordnung der Befunde zu entsprechenden Diagnosen. Hierfür überträgt CMDtrace automatisch alle Befunde in das Modul CMD DiagnosePilot (siehe Unterpunkt CMD DiagnosePilot).

The screenshot shows the 'Auswertung' window in the CMDtrace software. The window title is 'Auswertung'. It contains the following sections:

- Stabilität**: Ansteuerung der kalibrierten Referenzposition. Radio buttons for 'stabil' (unselected) and 'instabil' (selected).
- Bewegungskapazität**: A checked checkbox 'X' followed by '... signalisiert strukturelle intra-artikuläre Veränderungen' and '(Siehe CMD Diagnostik-Report: Diagnosen)'. A left arrow is to the right.
- Bewegungsverlauf**: A checked checkbox 'X' followed by '... signalisiert strukturelle intra-artikuläre Veränderungen' and '(Siehe CMD Diagnostik-Report: Diagnosen)'. A left arrow is to the right.
- Bewegungskoordination**: Radio buttons for 'physiologisch' (unselected), 'beeinträchtigt' (unselected), and 'stark eingeschränkt' (selected).

At the bottom of the window, there is a checkbox 'Auswertung freigeben', and buttons for 'Drucken' and 'Export'. Below the buttons, it says: 'Hinweise erfassen Sie in den Notizen. Die Zuordnung der Diagnosen erfolgt im CMD DiagnosePilot'. The footer of the window displays 'Sabrina Amann', 'Pat.-Nr. 1-1', and '12.9.2018'. The sidebar on the right has 'Notizen', 'Anleitung', 'PDF', 'Handbuch', and 'PDF' buttons.

## 7.1 Artikulatorprogrammierung

Die Auswertung der Bewegungsaufzeichnung zur Ermittlung der Einstell-  
daten für die Artikulatorprogrammierung ist unmittelbar an gerätespezifi-  
sche Messdaten gebunden.

Zudem erfordert diese Auswertung die Angabe  
des zur Verwendung bestimmten Artikulators und  
dafür wiederum Kenntnis über dessen Geome-  
trie. Hierfür legen die Artikulatorhersteller die  
Konstruktionsdaten Ihrer Geräte gegenüber den  
Herstellern der Registersysteme offen.

Die Kombination der Auswertung der geräte-  
spezifischen Messdaten und des gewählten  
Artikulatorsystems ergibt schließlich die ent-  
sprechenden individuellen Einstellwerte.  
Diese Berechnungen können und dürfen daher  
nur in der Gerätesoftware erfolgen, die Teil des  
jeweiligen Registersystems ist.



| CADIAx® Kurven |            |       |                 |        |                |       |
|----------------|------------|-------|-----------------|--------|----------------|-------|
|                | Protrusion |       | Mediotr. rechts |        | Mediotr. links |       |
|                | SKN r      | SKN l | SKN             | TKN    | SKN            | TKN   |
| 1.             | 38,8°      | 37,8° | 32,6°           | -11,5° | 43,7°          | -1,7° |
| 2.             | 29,8°      | 32,4° | 18,2°           | 0,2°   | 35,4°          | 3,3°  |
| 3.             | 8,6°       | 32,7° | 21,7°           | -1,1°  | 33,7°          | 3,0°  |
| 4.             | 1,7°       | 30,1° | -0,1°           | -0,1°  | 31,5°          | 2,0°  |
| 5.             |            | 27,6° |                 |        | 30,2°          | 0,5°  |
| 6.             |            | 22,7° |                 |        | 25,9°          | -1,8° |
| 8.             |            |       |                 |        | 16,7°          | -2,1° |
| 10.            |            |       |                 |        |                |       |
| 14.            |            |       |                 |        |                |       |

| Retrusion  |        |       |        |       |       |        |
|--|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 1.   | 31,3°  |       | 18,5°  |       |       |        |
| 2.   | 33,2°  |       |        |       |       |        |
| <b>Sagittale Kondylarbahneigung Artex® Arcon AR</b>    |        |       |        |       |       |        |
|  | Rechts |       |        | Links |       |        |
|  | 3. mm  | 5. mm | 10. mm | 3. mm | 5. mm | 10. mm |
|  |        |       |        | 24°   |       | 23°    |
| <b>Transversale Kondylarbahneigung Artex® Arcon AR</b> |        |       |        |       |       |        |
|  | Rechts |       |        | Links |       |        |
|  | 3. mm  | 5. mm | 10. mm | 3. mm | 5. mm | 10. mm |
| Angle  | 5°     |       |        | 5°    | 5°    | 5°     |
| ISS  | 0.1    |       |        | 0.0   | 0.0   | 0.0    |

ISS Schwellwert: 0.5

| CADIAx® Kurven |            |       |                 |        |                |       |
|----------------|------------|-------|-----------------|--------|----------------|-------|
|                | Protrusion |       | Mediotr. rechts |        | Mediotr. links |       |
|                | SKN r      | SKN l | SKN             | TKN    | SKN            | TKN   |
| 1.             | 38,8°      | 37,8° | 32,6°           | -11,5° | 43,7°          | -1,7° |
| 2.             | 29,8°      | 32,4° | 18,2°           | 0,2°   | 35,4°          | 3,3°  |
| 3.             | 8,6°       | 32,7° | 21,7°           | -1,1°  | 33,7°          | 3,0°  |
| 4.             | 1,7°       | 30,1° | -0,1°           | -0,1°  | 31,5°          | 2,0°  |
| 5.             |            | 27,6° |                 |        | 30,2°          | 0,5°  |
| 6.             |            | 22,7° |                 |        | 25,9°          | -1,8° |
| 8.             |            |       |                 |        | 16,7°          | -2,1° |
| 10.            |            |       |                 |        |                |       |
| 14.            |            |       |                 |        |                |       |

| Retrusion                                   |        |       |        |       |       |        |
|---|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 1.  | 31,3°  |       | 18,5°  |       |       |        |
| 2.  | 33,2°  |       |        |       |       |        |
| <b>Sagittale Kondylarbahneigung SAM®</b>    |        |       |        |       |       |        |
|   | Rechts |       |        | Links |       |        |
| Fossa                                       | 3. mm  | 5. mm | 10. mm | 3. mm | 5. mm | 10. mm |
| Fossa 1                                     | ●15°   |       |        | 27°   | 26°   |        |
| Fossa 2                                     | 15°    |       |        | ●21°  | ●21°  |        |
| Fossa 3                                     | 15°    |       |        | 15°   | 15°   |        |
| <b>Transversale Kondylarbahneigung SAM®</b> |        |       |        |       |       |        |
|   | Rechts |       |        | Links |       |        |
|   | 3. mm  | 5. mm | 10. mm | 3. mm | 5. mm | 10. mm |
| WEISS                                       | ●0°    |       |        | ●3°   | ●2°   | ●0°    |
| GRÜN  | 0°     |       |        | 0°    | 0°    | 0°     |
| BLAU  | 0°     |       |        | 0°    | 0°    | 0°     |
| ROT   | 0°     |       |        | 0°    | 0°    | 0°     |

## 7.2 Funktionelle Bewegungsanalyse

Unabhängig von der Artikulatorprogrammierung (siehe vorangehender Unterpunkt) ermöglicht die funktionelle Bewegungsanalyse die Auswertung der funktionsdiagnostisch relevanten Fragestellungen. Diese Indikationen für die Bewegungsanalyse haben Sie in CMDtrace einleitend festgelegt (siehe Menü Instrumente, Abschnitt Indikationen). Die danach erhobenen Befunde zur Bewegungsanalyse verdichtet CMDtrace nun zu einer Auswertung in Form von Kernaussagen. Bezogen auf die initialen Fragestellungen ergibt dies folgende Festlegungen:

Die **Stabilität in der Ansteuerung der kalibrierten Startposition** zeigt entweder eine stabile Ansteuerung jener initialen Referenzposition aus der Bewegung heraus - oder eine Abweichung. Dieses Ergebnis können Sie dann ggf. mit den Befunden aus der Kondylenpositionsanalyse (Modul CMD3D) sowie aus dem klinischen Funktionsstatus (Modul CMDstatus) vergleichen.

**Auffälligkeiten in der Bewegungskapazität** weisen auf strukturelle intraartikuläre Veränderungen bei zu geringer oder zu großer Bewegungsweite hin. CMDtrace markiert für Sie die betreffende Checkbox auf Grundlage der Befunde aus der Programmseite Bewegungsverlauf. Bitte stellen Sie in dem Fall auf Grundlage der Befunde die entsprechende Diagnose im CMD DiagnosePilot. Diese wird anschließend im CMD Diagnose-Report mit ausgegeben.

**Auffälligkeiten im Bewegungsverlauf** geben einen Hinweis auf strukturelle intraartikuläre Veränderungen (siehe Programmseite Bewegungsverlauf). Auch hier markiert CMDtrace die entsprechende Checkbox für Sie. Bitte stellen Sie auf Grundlage der Befunde die entsprechende Diagnose im CMD DiagnosePilot; auch hier wird die Information im CMD Diagnose-Report ausgegeben.

Die **Bewegungskoordination** lässt sich mit keiner Untersuchung so objektiv und genau bestimmen wie mit einer instrumentellen Bewegungsanalyse mit paraokklusaler Adapterbefestigung. In der Summe kann dabei die Bewegungskoordination physiologisch, in ihrer Qualität beeinträchtigt oder deutlich unphysiologisch sein. Diese Information hilft Ihnen bei der Entscheidung, ob die Voraussetzung für den Abschluss einer Funktionstherapie und eine eventuellen restaurativer Weiterbehandlung gegeben sind – oder noch nicht. In dem Fall wäre das Risiko für eine mangelhafte Adaptation durch den Patienten deutlich erhöht. Um überhaupt die entsprechende Information zu Ihrem Schutz und dem Ihrer Patienten zu erlangen ist eine Bewegungsanalyse zeitnah vor einer restaurativen Weiterbehandlung hilfreich.

In bestimmten Fällen ist es zudem möglich, die Bewegungsharmonie *ohne* und *mit dentaler Führung* zu vergleichen. Sie erkennen dies an der Harmonie des Bewegungsverlaufes. Ist diese mit dentaler Führung erkennbar besser so liegt es nahe, dass Ihr Patient die okklusale Abstützung gebraucht, um seine vordere Funktionskette zu schießen und dabei die Kopfhaltung zu stabilisieren. Bitte vergleichen Sie hierfür diesen Befund mit den Befunden aus den Tests auf orthopädische Co-Faktoren und der klinischen Funktionsanalyse (siehe Modul CMDstatus).

Sofern dieser Zusammenhang besteht stellen Sie die auf Grundlage jener Befunde im CMD DiagnosePilot die Nebendiagnose Instabilität des tiefen stabilisierenden Systems. Ausführliche Hinweise hierzu finden Sie zudem im Lehrbuch Klinische Funktionsanalyse – Manuelle Strukturanalyse – Interdisziplinäre Diagnostik (siehe nebenstehende Abbildung). Die in dem Fall erforderliche Anpassung der Behandlung legen Sie im CMD DiagnosePilot im Menü „Zahnärztliche Maßnahmen und konsiliarische Untersuchungen“ fest. Beides wird dann im CMD Diagnose-Report mit ausgegeben.

## 7.3 CMD DiagnosePilot

Den Abschluss der Auswertung bildet die Zuordnung der Funktionsbefunde zu entsprechenden Diagnosen. Hierfür hat CMDtrace bereits automatisch alle Befunde in das Modul CMD DiagnosePilot übertragen. Sie brauchen nichts dafür zu tun.

Schließen Sie daher nach Abschluss der Auswertung in CMDtrace dieses Modul und öffnen Sie den CMD DiagnosePilot. Sie finden darin die verschiedenen Diagnosen (links) und rechts daneben die in den verschiedenen Modulen erhobenen Befunde, diagnose-bezogen gewichtet als

- ▶ **Leitsymptome,**
- ▶ zu den jeweiligen Diagnosen **passende** und als
- ▶ zu den jeweiligen Diagnosen **nicht passende Befunde.**

Die Befunde stehen dabei im Kontext mit den Befunden aus den anderen Untersuchungen Klinischen Funktionsanalyse, Tests auf orthopädische Co-Faktoren, Tests auf psychische Co-Faktoren, Manuelle Strukturanalyse, Kondylenpositionsanalyse, Auswertung von Kiefergelenk-MRTs. Diese inhaltlich individuell aufbereitete Zusammenführung der verschiedenen Befunde ist einzigartig im Bereich der Funktionsanalyse bzw. der Diagnostik von CMD/TMD, macht Freude und führt den Ergebnissen einer wissenschaftlichen Studie zufolge zu besseren Diagnosen.

Zur Bedienung des CMD DiagnosePilot lesen Sie bitte die diesbezügliche Anleitung.

