

Leitlinie (S2k)

Instrumentelle zahnärztliche Funktionsanalyse

Kurzfassung zur Veröffentlichung in der DZZ



Autoren:

Prof. Dr. Karl-Heinz Utz¹, Prof. Dr. Alfons Hugger², Dr. Wolf-Dieter Seeher³, Priv.-Doz. Dr. M. Oliver Ahlers⁴,

Schlüsselwörter:

instrumentelle Funktionsanalyse; instrumentelle Funktionsdiagnostik; Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnung; Kondylenbahn-Aufzeichnung; Elektromyographie; Kondylenpositionsanalyse; Stützstift-Registrierung; Pfeilwinkel-Registrierung

Vorbemerkung

Das Zahnheilkundengesetz verpflichtet die Zahnärzteschaft auf die wissenschaftliche Zahnheilkunde. Der aktuelle Stand der Wissenschaft ist für einzelne Zahnärzte angesichts der Vielzahl wissenschaftlicher Publikationen und einer großen Menge nicht gutachterlich geprüfter Veröffentlichungen in der Regenbogenpresse schwer zu erfassen. Als Orientierungshilfe erstellen daher die zuständigen Fachgesellschaften wissenschaftliche Mitteilungen und – höher-rangige – Leitlinien. Mit erheblichem Aufwand erfassen die an der Erstellung beteiligten Fachleute den aktuell publizierten Stand, sichten und bewerten die Arbeiten, formulieren Schlüsselfragen, stimmen über die Antworten offen ab und erstellen auf dieser Basis einen Leitlinientext und einen transparenten Methodenreport für die Kollegenschaft – die dann beide noch eine mehrstufige Prüfung bei DGZMK und AWMF durchlaufen.

Für den Bereich der instrumentellen Funktionsanalyse hat eine 17-köpfige Arbeitsgruppe im Auftrag von 13 Fachgesellschaften unter Federführung der DGFD nun erstmals eine solche Leitlinie (S2k) erstellt. Deren Ziel war es, die Verfahren „Instrumentelle Bewegungsanalyse“, „Kondylenpositions-

analyse“, „Kieferrelationsbestimmung“ und „Oberflächen-Elektromyographie der Kaumuskelatur in der zahnärztlichen Anwendung“ jeweils inhaltlich abzugrenzen sowie die mit der Anwendung verbundenen Ziele und den erreichbaren Nutzen zu bestimmen. Die entstandene Leitlinie bildet seit ihrer Veröffentlichung die fachliche Referenz für alle in diesem Bereich klinisch wie auch gutachterlich tätigen Zahnärzte. Zudem erfüllt sie eine diesbezügliche Forderung des DIMDI, also letztlich der Gesundheitspolitik [84]. Das Original der Leitlinie ist auf der Website der AWMF veröffentlicht (<http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/083-017.html>). Die wichtigsten Informationen aus den vier Abschnitten der Leitlinie finden Sie nachfolgend zusammengefasst.

Definitionen

Unter dem Begriff der instrumentellen Funktionsanalyse werden im zahnärztlichen Bereich Untersuchungsmethoden verstanden, die unter Zuhilfenahme spezieller Instrumente und Geräte eine in quantitativer bzw. qualitativer Hinsicht ausgerichtete Beurteilung der Funktion des kranio-mandibulären Systems ermöglichen.

Neben der Bezeichnung „Funktionsstörung des Kausystems“ sind die Begriffe „craniomandibuläre Dysfunktion (CMD)“ und „temporomandibular disorder (TMD)“ gebräuchlich. Diese Begriffe sind allerdings keine Synonyme, da bei der CMD eher die Dysfunktion im Fokus steht, bei der TMD der Schmerz [31].

Teil 1: Instrumentelle Bewegungsanalyse

1.1 Definition

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

¹ Käferweg 1, 53639 Königswinter-Stieldorf

² Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Universitätsklinikum Düsseldorf, Moorenstraße 5, 40225 Düsseldorf

³ Südliche Auffahrtsallee 64, 80639 München

⁴ CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf, Falkenried 88, 20251 Hamburg sowie Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Zentrum ZMK, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Martinistr. 52, 20251 Hamburg



Abbildung 1 Beispiel für ein gelenknah und berührungshaft messendes System zur Bewegungsaufzeichnung des Unterkiefers (hier: Cadiax compact, Fa. Gamma Dental, mit Artex Gesichtsbogen, Fa. Ammann Girrbach)

(Abb. 1: M. O. Ahlers)



Abbildung 2 Beispiel für ein okklusionsebenennah und berührungslos messendes System zur Bewegungsaufzeichnung des Unterkiefers (hier: Jaw Motion Analyser JMA, Fa. Zebiris Medical)

(Abb. 2: M. O. Ahlers)

rativ orientierte Therapieplanung, Therapiegestaltung und Rehabilitation.

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

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

Bei Erfassung aller sechs Freiheitsgrade sind diese Systeme in der Lage, auf beliebige Punkte des Unterkiefers umzurechnen [26, 51].

1.2 Ziele und Verfahrensbewertung

Grundlegende Ziele der instrumentellen Bewegungsanalyse

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

- Patientenindividuelle Werte mit dem Ziel, zahnärztliche Maßnahmen und zahntechnische Prozesse auf funktionell individuelle Gegebenheiten des Patienten auszurichten und zu optimieren (sog. individuelle Artikulatoreinstellung, Artikulator-

programmierung bzw. Bewegungssimulation).

- Präzisierung dysfunktioneller bewegungsbezogener Erscheinungsformen im Rahmen funktionsorientierter Diagnostik (Funktionsdiagnostik). Im *diagnostischen* Prozess liefert die instrumentelle Bewegungsanalyse als weiterführendes Untersuchungsverfahren zusätzliche, auf der klinischen Funktionsanalyse aufbauende Informationen, die zur Spezifizierung klinisch basierter Diagnosen führen (qualitativer Aspekt). Ferner erlaubt sie, das Ausmaß bzw. den Schweregrad funktioneller Beeinträchtigung differenzierter darzustellen (quantitativer Aspekt).
- Auswertung und Dokumentation bewegungsbezogener Veränderungen im Verlauf der Anwendung therapeutischer Maßnahmen im Rahmen der Funktionstherapie. Im *therapeutischen* Kontext liefert die instrumentelle Bewegungsanalyse Anhaltspunkte für die Verbesserung des Funktionsgeschehens und dokumentiert funktionsbasierte Veränderungen im Behandlungsverlauf.

Spezielle Zielsetzungen

Im Zuge eines zunehmend sich entwickelnden digitalen Workflows in der restaurativen Zahnmedizin ist die instrumentelle Bewegungsanalyse als eine wichtige Ergänzung anzusehen, um die individuelle Bewegungsfunktion des Unterkiefers messtechnisch für die okklusale Gestaltung von Restaurationen

im CAD/CAM-Prozess abzubilden [53, 55]. Der Einsatz elektronischer Verfahren im Rahmen der instrumentellen Bewegungsanalyse ermöglicht die für den genannten Herstellungsprozess erforderliche individuelle, patientenbezogene Datengenerierung zur realistischen Simulation zahngeführter Bewegungen [32].

Im Bereich der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik baut die instrumentelle Bewegungsanalyse auf der klinischen Funktionsanalyse auf [13, 52, 57]. Die klinische Funktionsanalyse ist der erste Schritt zur Beurteilung des Funktionszustandes eines Patienten mit Funktionsstörungen des Kausystems und soll daher der instrumentellen Bewegungsanalyse vorausgehen.

Neben der Erfassung der subjektiv vom Patienten angegebenen Beschwerden (insbesondere Schmerzen, aber auch Bewegungsbeeinträchtigungen oder als störend empfundener Kiefergelenkgeräusche) ist das Erheben objektivierender Befunde für die Zahnärztin/den Zahnarzt bedeutsam: Zum einen gilt dies grundlegend für den diagnostischen Prozess, der eine klinische Diagnosestellung ermöglicht; zum anderen liefert die Gegenüberstellung bzw. das Nebeneinander von subjektiven Eindrücken und objektiven Befunden wichtige Impulse auf der Ebene der Patienten-Arzt-Interaktion im Therapieverlauf (Veranschaulichung, Motivation). Die instrumentelle Bewegungsanalyse ergänzt und spezifiziert die objektivierende Befunderhebung: Für den Aspekt der

Unterkieferbewegungen ermöglicht sie eine differenzierte Beurteilung des Funktionszustandes in qualitativer und quantitativer Hinsicht [56]. Damit ist die instrumentelle Bewegungsanalyse also kein Untersuchungsverfahren, das die klinische Funktionsanalyse und die sich daraus ableitende Diagnosegenerierung unter Einsatz von Messgeräten *ersetzt* und überflüssig macht, sondern ein Verfahren, das die Untersuchung des Kausystems unter dem Blickwinkel der Mobilität (Kapazität, Koordination und okklusale Zentrierung) des Unterkiefers spezifisch erweitert [1, 27, 32].

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

Die instrumentelle Bewegungsanalyse ist keine Methode der Schmerzerfassung und soll nicht als solche eingesetzt werden. Die instrumentelle Bewegungsanalyse ist auch keine Form der objektiven „Schmerzbefundung“ oder eine Methode der Schmerzbehandlung. Vielmehr dient die instrumentelle Bewegungsanalyse dazu, Auswirkungen eines orofazialen Schmerzgeschehens auf die Bewegungsfunktion zu beurteilen, und hilft, die Beziehung zwischen Schmerzgeschehen einerseits und Funktionsfähigkeit andererseits auf der Stufe der Diagnosestellung wie auch auf der Stufe des Therapieverlaufs zu klären [86, 87].

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

und Weise der okklusalen Gestaltung bei zahnärztlich-restaurativen Maßnahmen beinhalten [27, 68, 77].

Verfahrensbewertung

Einzelne Bewegungsabläufe sollen mehrfach aufgezeichnet werden, um zufällige Erscheinungen (qualitativ wie auch quantitativ) von konstant auftretenden Befunden zu unterscheiden. Insgesamt sind Bewegungsaufzeichnungen des Unterkiefers – unter Beachtung messtechnischer und untersuchungsbezogener Einflüsse und in Kenntnis physiologischer Prozesse – ausreichend zuverlässig (reliabel), um im Kontext anamnestischer und klinischer Befunde diagnostische und therapeutische Schlussfolgerungen zu treffen.

1.3 Nutzen

Die Analyse der Bewegungsfunktion des Unterkiefers soll entsprechend der Kriterien des Konsensuspapiers der DGFDT⁵ erfolgen (zusammengefasst in einer Kriterienmatrix).

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

- Werte für sagittale Kondylenbahn-Neigungswinkel (Winkel der Protrusionsbahnen)
- Bennett-Winkel
- Immediate side shift
- sagittale und frontale Frontführungswinkel.

Das Ziel der Übertragung der individuell ermittelten Werte in den Artikulator/Bewegungssimulator ist es, die Bewegungen des technischen Gerätes „Artikulator/Bewegungssimulator“ soweit wie möglich den tatsächlichen Bewegungen des Patienten anzugleichen. Dies zielt u. a. darauf ab, zahntechnische Arbeiten ohne umfangreiche okklusale Korrekturen im Mund des Patienten einzugliedern. Damit wird dem Patienten die Adaptation erleichtert, indem die zahntechnische Gestaltung der Okklusalflä-

chen möglichst optimal auf individuelle funktionelle Gegebenheiten abgestimmt und auf biomechanische Erfordernisse ausgerichtet ist [1, 27].

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

- **Bewegungskapazität** zur Erfassung des Ausmaßes maximaler Bewegungsmöglichkeiten im Sinne der so genannten neuromuskulären Grenzbewegungen,
- **Koordination** des Ablaufes von Bewegungen am jeweiligen Betrachtungsort sowie der Beziehung zwischen rechter und linker Unterkieferseite,
- **okklusale Stabilität und gelenkbezogene Zentrierung** zur Erfassung der Reproduzierbarkeit der Ausgangs-/Referenzposition des Unterkiefers.

Für den Bereich der **zahnärztlichen Funktionstherapie** ergeben sich Folgerungen vor allem aus nachfolgend aufgeführten Befunden. Diese können anhand der klinischen Funktionsanalyse und ggf. der manuellen Strukturanalyse zwar grundsätzlich bestimmt werden, sind jedoch durch die instrumentelle Bewegungsaufzeichnung differenzierter (nach Beeinträchtigung im kondylären und/oder inzisalen Bereich unterschieden), präziser und detaillierter (in Bezug auf Ausmaß/Schweregrad und zeitliches Auftreten) beurteilbar und nicht zuletzt metrisch erfassbar (Auflistung nicht abschließend) [1, 27, 54]:

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

Aufzeichnungen der beim Kauen vollzogenen Unterkieferbewegungen (**kinematische Kaufunktionsanalyse**,

⁵ „Stellungnahme im Rahmen der Erarbeitung von diagnostischen Kriterien für Dysfunktion: Die Bewegungsfunktion des Unterkiefers: Konzept zur Strukturierung von Analyse-kriterien und zur Standardisierung bei der computerunterstützten Aufzeichnung“ (Konsensus-Workshop des Arbeitskreises Kaufunktion und Orale Physiologie am 16.11.2012 im Rahmen der 45. Jahrestagung 2012 der DGFDT in Bad Homburg) [7]

zum Teil in Kombination mit Elektromyographie) lassen sich dazu nutzen, Daten für spezifische, das *Kauen* charakterisierende Parameter zu liefern – unter Berücksichtigung der hierzu erforderlichen speziellen Voraussetzungen (Standardisierung des Kaugutes etc.): u.a. Kaufrequenz, Dauer der Kausequenz, Anzahl der Kauzyklen, Dauer der Kauzyklen, kumulative Länge der Inzialsbahn [27].

Die Auswertung gelenknaher Bewegungsaufzeichnungen (Kondylenbahnen, die vornehmlich Öffnungs-/Schließbewegungen bzw. Vorschubbewegungen berücksichtigen) erlaubt darüber hinaus diagnostische Struktur bezogene Rückschlüsse auf die intraartikuläre Situation, insbesondere zur Diskus-Kondylus-Beziehung [4, 5, 26, 51, 70]. *Kondyläre* Bewegungsaufzeichnungen lassen mit Einschränkungen Rückschlüsse auf die intraartikuläre Situation zu, insbesondere zur Kondylus-Diskus-Beziehung und eingeschränkt zum artikulären Strukturzustand. Die „Einschränkungen“ betreffen den Umstand, dass die Folgerungen aus den Bewegungsbefunden mit Unsicherheit behaftet sind und eine höhere Wahrscheinlichkeit für falsch negative Befunde als für falsch positive Befunde besteht, da die Sensitivität geringer als die Spezifität ist. Mit anderen Worten: Bestehende Auffälligkeiten in Bewegungsaufzeichnungen gehen mit hoher Wahrscheinlichkeit auf bestehende Störungen zurück (hohe Spezifität). Aber aus dem Fehlen von Auffälligkeiten in der Bewegungsaufzeichnung kann nicht abgeleitet werden, dass beim Patienten keine solche bestehen (geringe Sensitivität). Infolge der geringen *Sensitivität* ist daher die instrumentelle Bewegungsanalyse zum *Screening* hinsichtlich intraartikulärer Störungen nicht geeignet.

Im Gegensatz zu *kondylären* Bahnspuren zeigen die auf *inzisale* Bewegungsbahnen bezogenen Befunde Deviation und Deflexion eine in der Regel geringe bis mäßige Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit. Eine auf *inzisale* Bewegungsauffälligkeiten gründende *Gelenkdiagnostik* birgt im Vergleich zur *Analyse kondylärer* Bewegungsbahnen in hohem Maße die Gefahr der Fehldiagnose und soll daher in der klinischen Praxis nicht zur Anwendung kommen.

Teil 2: Kondylenpositionsanalyse

2.1 Definition

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

2.2 Ziele und Verfahrensbewertung

Die Vermessung der Kondylenpositionen hat zum Ziel, bei *bezahlten* Patienten die Differenzen zwischen einerseits einer vom Zahnarzt per handgeführter Kieferrelationsbestimmung registrierten und von der Zahnstellung unabhängigen „zentrischen“ Unterkieferhaltung zuzustellen. Auf diese Weise kann man z.B. den physiologischen Streubereich in den kondylären Stellungen herausarbeiten und im Kontext mit den klinischen Befunden entscheiden, welche Position des Unterkiefers sich als Ausgangslage für zahnärztliche Rekonstruktionen eignet.

Die Stellungen der Kondylen in Bezug zu den Disci und zu den Fossae articulares können mit *rein klinischen* Methoden *nicht* präzise genug ermittelt werden. Die Ursache liegt darin, dass die Kondylen in Gewebe eingebettet, von ihnen bedeckt und der direkten Einsicht nicht zugänglich sind. Die kondylären Positionen in Relation zu den benachbarten Geweben können daher nur indirekt einerseits über bildgebende Verfahren gefunden werden (seitliches Fernröntgenbild, transkranielle Röntgen-Schädelaufnahme, Computertomogramm, digitales Volumetomogramm, Hochfrequenz-Arthronografie, Magnetresonanztomografie).

Andererseits wird versucht, die Lageänderung der Kondylen direkt am Patienten mit Messgeräten vergleichend zu erfassen, um daraus Rückschlüsse auf die Kondylenpositionen zu ziehen und eine Bewertung durchzuführen. Bei indirekten Verfahren mit stationären Messinstrumenten können – nach der Erstellung von Modellen und Registraten – Lageänderungen der Artikulator-kondylen alternativ in Kombination mit mechanischen oder elektronischen

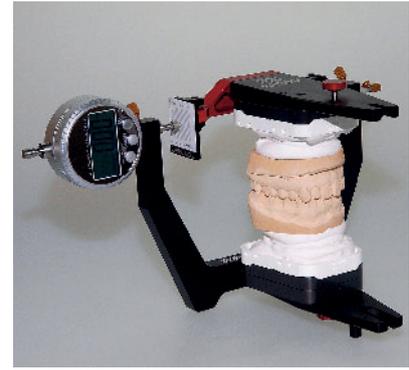


Abbildung 3 Beispiel für ein stationäres Kondylenpositions-Messinstrument (hier: A-CPM, Fa. Gamma Dental, A-3400 Klosterneuburg); Positionierung der Ober- und Unterkiefermodelle in maximaler Interkuspitation

(Abb. 3: M. O. Ahlers)

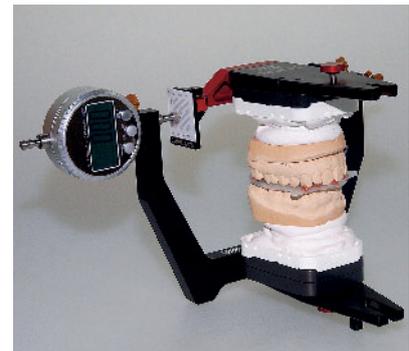


Abbildung 4 Stationäres Kondylenpositions-Messinstrument (hier: A-CPM, Fa. Gamma Dental); Positionierung der Ober- und Unterkiefermodelle in zentrischer Kieferrelation mittels eines Zentrik-Registrates

(Abb. 4: M. O. Ahlers)

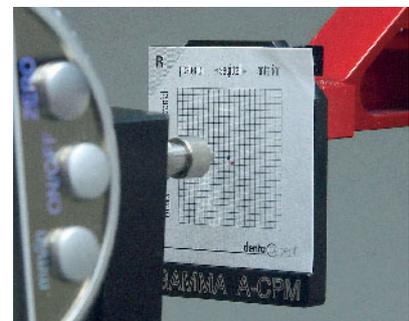


Abbildung 5 Erfassung der sagittalen Messpunkte am stationären Kondylenpositions-Messinstrument (hier: Cadiac E-CPM, Fa. Gamma Dental), die Auswertung erfolgt später auf dem Befundbogen Kondylenpositionsanalyse.

(Abb. 5: M. O. Ahlers)

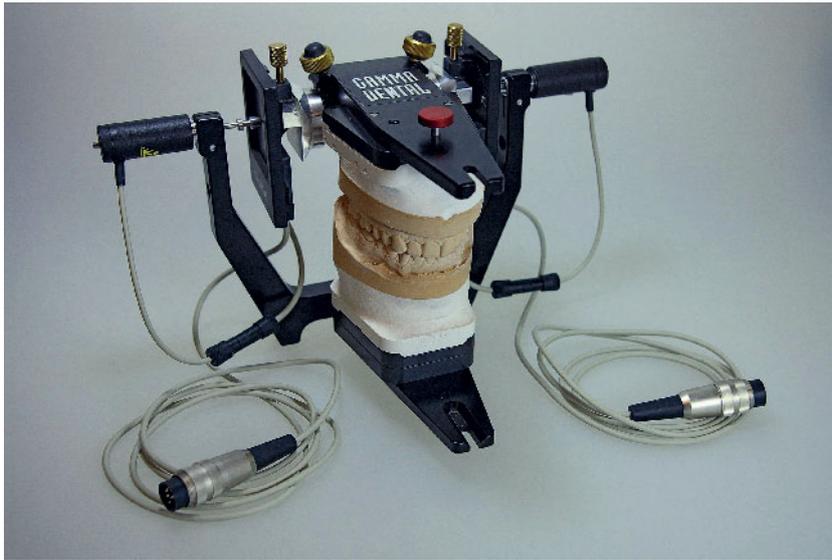


Abbildung 6 Beispiel für ein stationäres elektronisches Kondylenpositions-Messinstrument (hier: E-CPM, Fa. Gamma Dental) mit Positionierung der Ober- und Unterkiefer-Modelle in maximaler Interkuspidation

(Abb. 6: M. O. Ahlers)

Messsystemen unabhängig vom Patienten untersucht werden.

Als Verfahren können insofern unterschieden werden:

- das indirekte Verfahren unter Verwendung eines stationären mechanischen und/oder elektronischen Messinstrumentes sowie montierter Modelle (Abb. 3–5)
- die Kondylenpositionsanalyse direkt am Patienten (in der Regel heute unter Einsatz elektronischer Messinstrumente, siehe Abb. 2 Teil 1 sowie Abb. 6, 7), sowie
- die Kondylenpositionsanalyse unter Einsatz bildgebender tomographischer Verfahren.

Verfahrensbewertung

Die Langfassung der Leitlinie enthält ausführliche Erläuterungen zu den mit den verschiedenen Untersuchungsverfahren und in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung und Ausgangssituation erreichbaren Genauigkeiten und deren Reproduzierbarkeit. Diese redaktionell aufbereitete Zeitschriftenfassung bleibt im Vergleich auf die nachfolgenden klinisch unmittelbar relevanten Punkte beschränkt.

Indirektes Verfahren an montierten Modellen

Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Messungen in handelsüblichen

stationären Messsystemen liegen vor [103]. Die Kondylenpositionsanalyse im Artikulator mit entsprechendem Funktionsumfang oder im stationären Kondylenpositions-Messinstrument stellt demnach ein geeignetes Verfahren dar, um bei mehrfachen Messungen eine Vorstellung über Abweichungen der zentrischen Kondylenposition zu erhalten.

Kondylenpositionsanalyse direkt am Patienten

Im Vergleich zu indirekten, durch viele Zwischenschritte gekennzeichneten Messungen im Artikulator ist davon auszugehen, dass elektronische Messungen mit Kopf- und Unterkieferbögen *direkt* am Patienten zu einer etwas höheren Genauigkeit führen können. Sie bieten auch zusätzliche Interpretationsmöglichkeiten, weil unmittelbare Effekte, die nur unter Okklusionskontakt entstehen, registrierbar sind. Die Position des Kopfbogens kann jedoch durch Lageveränderungen des Messinstrumentes, Kopfbewegungen oder den Muskelzug unbeabsichtigt verändert werden. Somit kann auch bei diesem Verfahren die erwartete Reproduzierbarkeit verringert werden [3, 6, 7, 60, 82, 83, 85, 95–97, 103]. Darüber hinaus sollte auch nicht vergessen werden, dass zur Beurteilung okklusaler Relationen und/oder zur Herstellung von

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

Neben elektronischen Messungen indirekt im Artikulator oder direkt mit Kopf- und Unterkieferbögen am Patienten können neuerdings auch digitale, vestibuläre Intraoralscans eingesetzt werden. Grundlage dieser Verfahren sind virtuelle Modelle. Sie sind von der Methodik „an sich“ sehr genau (ca. 50 µm [41]). Da derzeit intraorale Scans aber nur in einem Teilbereich des Kiefers mit einer akzeptablen Genauigkeit durchführbar sind, müssen diese zu Ganzkieferscans zusammengefügt werden. Die Genauigkeit dieses Verfahrens insgesamt ist derzeit jedoch noch unbefriedigend. Auch sollte nicht übersehen werden, dass es bei der indirekten Herstellung von Zahnersatz verschiedene verfahrenstechnische Zwischenstufen gibt und zwangsläufig die dafür geltenden Grenzen der Reproduzierbarkeit gelten, die deutlich geringer sind (räumlich ca. 0,1 bis 0,2 mm im Kondylarbereich) [8, 21, 38, 69, 73, 99, 103].

Kondylenpositionsanalyse unter Einsatz bildgebender tomographischer Verfahren

Herkömmliche Röntgentechniken sind für eine *exakte* Positionsdiagnostik ungeeignet. Magnetresonanztomogramme erlauben zwar eine dreidimensionale Beurteilung der Positionen, jedoch ist die Genauigkeit der Positionsaussage zumindest eingeschränkt, weil die Bildauflösung der Verfahren u.U. *allein* zur *exakten* Positionsbestimmung der Kondylen nicht ausreicht.

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

Vor dem Hintergrund der bisherigen Datenlage sollte in der klinischen Praxis *anstelle* der zahnärztlichen Kondylenpositionsanalyse im direkten oder indi-

rekten Verfahren keine Bestimmung der Kondylenposition mittels bildgebender, insbesondere ionisierender, Verfahren vorgenommen werden. Wenn jedoch ohnehin zur Beurteilung der Situation, z.B. im Rahmen der Funktionsdiagnostik und -therapie, ein Magnetresonanztomogramm (MRT) angefertigt wird, kann im Rahmen der Untersuchung die vom Patienten zuvor eingenommene und in der Kondylenposition erfasste Kieferposition durch Schablonen oder Schienen fixiert und im MRT bildgebend dargestellt werden.

Reproduzierbarkeit

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

Die okkludierenden Zahnreihen bestimmen mechanisch die Position der Kondylen [10], die **maximale Interkuspitation** lässt sich daher sowohl am Patienten [41] als auch an Modellen im Artikulator genauer einstellen als die zentrische Kondylenposition [99, 100].

Die Genauigkeit bei der Festlegung der **zentrischen Kondylenposition** als einer der Referenzpositionen in einem Gelenk mit „Freiheitsgraden“ wird geringer sein. Sie beträgt bei direkt am Patienten durchgeführten Verfahren im besten Fall etwa 0,2 mm, im Artikulator ca. 0,3 mm [82, 83, 88]. Da alle Verfahren diese Fehlergrößen beinhalten, sind Analyse-Resultate unter ca. 0,5 mm auch bei sehr präzisiertem Vorgehen in ihrer Aussagekraft nur eingeschränkt zu interpretieren.

Klinische Stellung des Untersuchungsverfahrens

Generell ist im Einzelnen ohne geeignete bildgebende Verifizierung nicht eindeutig bestimmbar, auf welche konkreten anatomischen kondylennahe Strukturen sich der in der Kondylenpositionsanalyse verwendete rechte und linke posteriore Referenzpunkt bezieht. Ohne diese genaue Kenntnis sind Aussagen zu vermeintlichen „Verlagerungen der Kondylen“ oder „Kompressionsphäno-

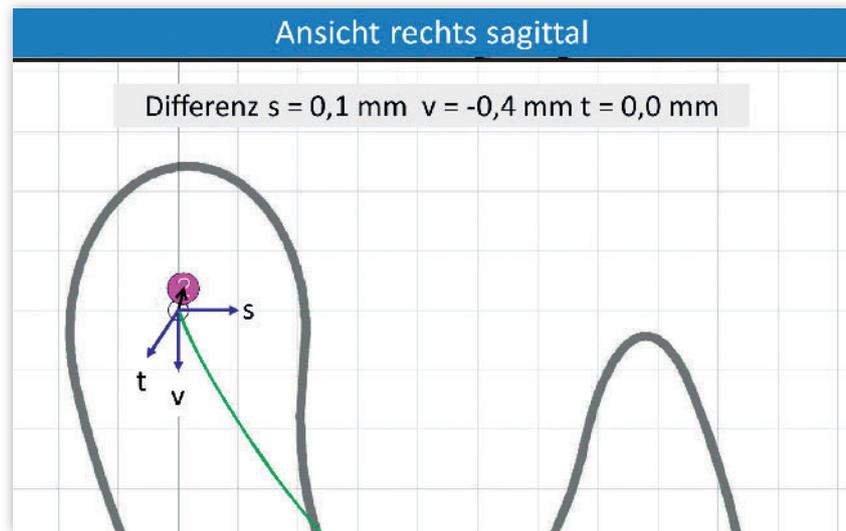


Abbildung 7 Direkter Vergleich der zentrischen Kondylenposition (Pos. 1, Koordinatensprung) mit der Kondylenposition in maximaler Interkuspitation (Pos. 2, violett) am Patienten: Schematische Veranschaulichung der Gelenkbelastung durch die Okklusion (schwarzer Vektor, s = sagittal, v = vertikal, t = transversal). Grüne Spur = Protrusionsbahn). Darstellung aus Axioquick-Recorder, Fa. SAM, Gauting (verändert)

(Abb. 7: W.-D. Seeher)

menen im Gelenkbereich“ – hier beispielhaft aufgeführt – spekulativ und allenfalls als Verdacht zu formulieren.

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

2.3 Nutzen

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

- quantitative und qualitative Darstellung der Abweichungen der individuellen kondylären Referenzpositionen relativ zueinander, i.d.R. zentrische Kondylenposition und die Kondylenposition in maximaler Interkuspitation,
- Beurteilung der Reproduzierbarkeit der maximalen Interkuspitation bei mehrfachen Messungen,

- Beurteilung der Reproduzierbarkeit einer ermittelten zentrischen Kondylenposition bei mehrfachen Messungen,
- Erkennung von Verlagerungsrichtungen und Ausmaß der Referenzpositionen relativ zueinander,
- Beurteilung der Reproduzierbarkeit bei der Ermittlung kondylärer Positionen unter Einsatz verschiedener Registrierungsverfahren/-materialien,
- Kontrolle der kondylären Positionen im Therapieverlauf.

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

Teil 3: Kieferrelationsbestimmung: horizontale Kieferrelationsbestimmung mittels Stützstift-Registrierung

Die Problematik der Kieferrelationsbestimmung wurde bereits in einer früheren, inhaltlich auch derzeit noch zutreffenden, „Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Pro-



Abbildung 8 Übliche Stützstiftplatten, wenn mit dem Condylator-System registriert wird (Abb. 8: K.-H. Utz)



Abbildung 9 Stützstiftplatten zur Festlegung der zentralen Kondylenposition erfordern eine möglichst minimale Bissperrung durch den Stützstift. Gleichzeitig darf in dieser Position kein interokklusaler Kontakt zwischen den Zähnen auftreten. (Abb. 9: K.-H. Utz)

thetische Zahnmedizin und Biomaterialien e.V. (vormals DGZPW): Kieferrelationsbestimmung“ ausführlich erläutert und diskutiert [101] (<http://www.dgfdt.de/documents/266840/266917/wissenschaftliche+Mitteilung+DGZPW+Kieferrelationsbestimmung/db157bde-82d4-44b6-a3c9-d962a713ef99> und <http://www.dgzmk.de/zahnaerzte/wissenschaft-forschung/mitteilungen/details/document/kieferrelationsbestimmung.html?cHash=8aac02274d94caadd74960c25c8af196&type=98>). Im Rahmen der vorliegenden Leitlinie wird daher lediglich der Bereich der „Stützstift-Registrierung“ detailliert erneut aufgegriffen, weil der Stellenwert hierfür angebotener elektronischer Geräte für die Verkehrskreise offensichtlich

einer entsprechenden Einordnung bedarf.

3.1 Definition

Die zentrale Stützstift-Registrierung stellt ein Verfahren der Zuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer mit dem Ziel dar, über die intraorale Aufzeichnung einer Pfeilwinkelspitze eine horizontale Kieferrelation zu bestimmen (alternative Bezeichnungen: Pfeilwinkel-Registrierung, Aufzeichnung des Gotischen Bogens, grafisches Verfahren, McGrane-Registrierung [65]). Als Hilfsmittel werden „Stützstiftplatten“ im Ober- und Unterkiefer im zahntechnischen Labor hergestellt, die auf Höhe der Okklusionsebene und zwischen den Zahnreihen verlaufen und bei Bezahnten mit Kunststoff an den Zahnreihen adaptiert werden. Sie umfassen – i.d.R. im Oberkiefer – einen vertikal befestigten „zentralen Stützstift“, der die Okklusionsebene geringfügig überragt und etwa in Höhe zwischen den zweiten Prämolaren und den ersten Molaren sowie über der Mittellinie des Gaumens angebracht wird („im Zentrum der Belastung“). Passend dazu im Unterkiefer wird in Höhe der Okklusionsebene und transversal zwischen den Zahnreihen – unter Verdrängung der Zunge – eine Metallplatte entsprechend in Unterschnitten der Dentition befestigt (Abb. 8). Nach dem Einfügen dieser Hilfsmittel in den Mund kann der höhenverstellbare zentrale Stützstift so eingestellt werden, dass bei Kieferschluss und in zentraler Kondylenposition lediglich ein „interokklusaler“ Kontakt zwischen dem Stift und der Platte entsteht, die Okklusalfächen der Zahnreihen selbst jedoch – möglichst *minimal* – diskudiert sind [16, 17]. Bei Kieferschluss in zentraler Kondylenposition besteht intraoral zum Gegenkiefer daher nur noch ein Kontakt über den Stützstift (Abb. 9).

Trägt man eine Farbschicht auf der Schreibplatte auf, können – bei entsprechender Kiefer-Sperrung durch die Schraube – die horizontalen Grenzbewegungen der Mandibula ohne weitere interokklusale Kontakte abgefahren werden. Durch wiederholte Lateralebewegungen nach rechts und links wird auf

der Unterkieferplatte ein „Pfeilwinkel“ sichtbar. An der Stelle, wo sich die beiden Lateralebewegungen in der Medianebene treffen, entsteht eine „Pfeilwinkelspitze“ („most retruded position of function“ [65]). Diese Position des Stützstiftes auf der Platte ist eine gut reproduzierbare dorsale Grenzposition des Unterkiefers. Sie wird bei dieser Methode als „zentrische Kondylenposition“ definiert (Abb. 10, 11).

3.2 Ziele und Verfahrensbewertung

Im Rahmen der Zuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer ist das primäre Ziel einer Stützstift-Registrierung, einen physiologischen Ausgangspunkt z.B. für eine Okklusionsanalyse von Modellen im Artikulator oder für die Herstellung von Okklusionsschienen bzw. Zahnersatz zu bestimmen.

Wenn nicht spezielle, abweichend konstruierte Aufzeichnungsplatten eingesetzt werden [74], ist es selbst bei vollbezahnten Probanden unmöglich, deren *maximale Interkuspidation* mit diesem Verfahren zu registrieren. Der Grund liegt darin, dass die Stützstiftplatten nicht paraokklusal befestigt sind und eine Einstellung der maximalen Interkuspidation der natürlichen Zähne gar nicht zulassen. Die Aufzeichnung eines Adduktionsfeldes⁶ jedenfalls – von dem man früher annahm, dass diese neuromuskuläre Registrierung die maximale Interkuspidation repräsentieren würde – ist dazu nicht geeignet: Die Aufzeichnungen des Adduktionsfeldes resultieren bei Bezahnten in einem sehr individuellen, ganz unregelmäßig geformten und größeren Feld und nicht in einem exakten Punkt [14, 19, 46, 48, 63, 76, 79, 107, 108]. Zur Aufzeichnung ist weiterhin i.d.R. eine Erhöhung der vertikalen Relation über die Ruhelage hinaus erforderlich [92, 107, 108]. Unter diesen Voraussetzungen erscheint es von vorneherein gar nicht möglich, eine „entspannte“ neuromuskuläre Position festzulegen.

Bei Patienten mit Totalprothesen kann über die Aufzeichnung eines Adduktionsfeldes mit Stützstiftplatten ebenfalls keine maximale Interkuspidation festgelegt werden, weil zum einen

⁶ „Ein Adduktionsfeld entsteht aus den Markierungen auf der Aufzeichnungsplatte, wenn Stützstiftplatten wie beschrieben eingefügt werden, der Proband/Patient aufrecht und entspannt im zahnärztlichen Stuhl sitzt und er schnelle, aufeinanderfolgende, habituelle Schließbewegungen ausführt.“



Abbildung 10 Zur Ermittlung der zentrischen Kondylenposition sind nur gering ausgeprägte Seitbewegungen sinnvoll, weil anderenfalls eine zu große Bissperrung erforderlich wird, wenn okklusale Interferenzen vermieden werden sollen.

(Abb. 10: K.-H. Utz)

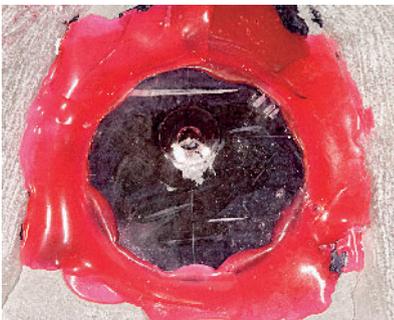


Abbildung 11 Verschlüsselung auf der Pfeilwinkelspitze mit dem Plexiglas-Rondell des Condylator-Systems

(Abb. 11: K.-H. Utz)

die natürlichen Zähne fehlen und sich zum anderen im Laufe der Zeit andere Reflexmuster für die Einstellung der Unterkieferhaltung etabliert haben [89–91].

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

Die Beurteilung, ob die nach einer Stützstift-Registrierung resultierende kondyläre Position „richtiger“ oder „angemessener“ ist als solche, die mit anderen Verfahren erzielt werden, unterliegt

exakt der gleichen Problematik, wie sie in Teil 2 dieser Leitlinie diskutiert wurde und wird hier daher nicht wiederholt (Abschnitt „Kondylenpositionsanalyse“).

Die Position des Stützstifts auf der Aufzeichnungsplatte übt im Besonderen bei unbezahnten Patienten einen hohen Einfluss auf die Qualität der Registrierung aus. Ziel der Stützstift-Registrierung ist es daher, obere und untere Registrierschablonen oder Prothesen in zentrischer Kondylenposition so gleichmäßig zu belasten, dass der Zahnersatz sich nach leichtem Kieferschluss und bei dann zunehmender Schließkraft im Ober- wie im Unterkiefer möglichst wenig bewegt: Die Tegumente sollen gleichmäßig belastet werden und beide Prothesen nicht dislozieren.

Sollten solche Dislokationen der Prothesen jedoch bei der horizontalen Kieferrelationsbestimmung auftreten, dann ist die Folge, dass die fertiggestellten Prothesen bei jedem Kieferschluss diese Dislokationen auch aufweisen. *Kontraindikationen* des Einsatzes der Stützstifttechnik stellen folgerichtig Situationen dar, bei denen z.B. die Prothesenschwerpunkte im Ober- und Unterkiefer in sagittaler Richtung stark unterschiedlich positioniert, ausgeprägte Resilienzunterschiede (Schlotterkämme) vorhanden sind oder Kieferdefekte vorliegen. Zumindest in diesen Fällen soll auf die handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung zurückgegriffen werden [101].

Computergestützte Verfahren

Die Aufzeichnung des Pfeilwinkels lässt sich heute auch computergestützt durchführen [104]. Dabei kann auch die Schließkraft während der Aufzeichnung gemessen werden.

Die Möglichkeit, bei den computergestützten Verfahren den Pfeilwinkel während der Entstehung der Aufzeichnung auf einem Monitor vergrößert darzustellen und damit für den Patienten zu visualisieren (Feedback), stellt ebenso einen Vorteil dar wie die Möglichkeit, die aufgewendete Kieferschließkraft während der Registrierung oder u.U. sogar während der Verschlüsselung zu messen und zu kontrollieren. Die für die Aufzeichnung notwendige Kieferschließkraft liegt bei einigen elektronischen Verfahren bisher zwischen 10 N und 30 N. Beim herkömmlichen analo-

gen Verfahren – ohne elektronische Kontrolle – sind die Schließkräfte während der Aufzeichnung geringer, sie liegen hier meist unter 10 N [40]. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Kräfte über 5 N offenbar negative Einflüsse ausüben [43, 44, 59, 105].

Bestehende Wissenslücken

Es liegen bisher keine Studien zu der Frage vor, welche Höhe die Kieferschließkraft während der Pfeilwinkelregistrierung bzw. während der Verschlüsselung haben sollte bzw. haben darf. Ebenso ist die für die Übertragung in den Artikulator bei einigen Systemen berechnete und von der Pfeilwinkelspitze sowie *auch von der maximalen Interkuspidation abweichende* Platzierung des Unterkiefers wissenschaftlich bisher nicht belegt [12, 42, 58, 60]. Inwieweit die Höhe der aufgewendeten Kieferschließkraft oder die abweichende Positionierung des Unterkiefers – weg von der Pfeilwinkelspitze – mit der späteren Akzeptanz der Patienten mit den Prothesen in Beziehung steht, ist ebenfalls nicht belegt.

Verfahrensbewertung

Die Reliabilität der Stützstift-Registrierung wurde in vielen Studien sowohl bei Bezahnten als auch bei Totalprothesenträgern einerseits zweidimensional auf Höhe der Okklusionsebene [9, 11, 18–20, 24, 25, 39, 45, 47, 64, 66, 78, 107], andererseits mit zusätzlichen Hilfsmitteln direkt oder indirekt dreidimensional im Kondylarbereich gemessen [2, 37, 49, 58, 61, 62, 71, 80, 81, 89, 90, 92, 94, 98, 100].

Vergleich klassisch analoger und computergestützter Stützstift-Registrate

Die Reliabilität zwischen den klassischen und den computergestützten Registriersystemen unterscheidet sich *nicht* [42, 107, 108]. Dies ist nicht verwunderlich, da beide Verfahren auf der gleichen Grundlage beruhen.

Vergleich von Stützstift-Registralen mit handgeführten Registralen in zentrischer Kondylenposition

Bei *bezahnten* Patienten attestieren neuere Studien dem Stützstiftverfahren eine Genauigkeit von im Mittel ca. 0,3 mm [92, 100]. In diesen Werten ist die Präzision der Platzierung des Plexiglasrondells auf der Schreibplatte integriert. Das entspricht exakt der Repro-

duzierbarkeit, die auch die handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung bei den entsprechenden Indikationen aufweist. Nur bei *Totalprothesenträgern* ist die Reproduzierbarkeit der Stützstift-Registrierung gegenüber der handgeführten horizontalen Kieferrelationsbestimmung besser (im Mittel 0,5 mm gegenüber 0,7 mm im Kondylarbereich [94, 98, 102]).

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

Übereinstimmung von Stützstift-Registrierung und zentrischer Kondylenposition

Nachdem Studien zeigten, dass die Kondylenposition in maximaler Interkuspidation und die zentrische Kondylenposition bei der Stützstift-Registrierung nicht zwangsläufig übereinstimmen (s.o.), ging man lange davon aus, dass die handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung („Checkbiss-Registrierung“) und die zentrale Stützstift-Registrierung in einer ganz ähnlichen – wenn nicht sogar der „gleichen“ – Unterkieferlage resultierten (= „gleiche“ Kondylenposition). Dies ist heute widerlegt: Handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung und die Verschlüsselung auf der Pfeilwinkelspitze haben *unterschiedliche* Unterkieferlagen zur Folge [2, 9, 29, 47, 49, 58, 60, 75, 93, 98, 106]. Derzeit noch nicht publizierte Ergebnisse an 75 bezahnten Probanden, bei denen je drei Registrierungen jeweils ganz unterschiedlicher Art durchgeführt und jeweils zu einem Mittelwert zusammengeführt wurden [100], zeigen, dass die Stützstift-Registrierung die Kondylen gegenüber der handgeführten horizontalen Kieferrelationsbestimmung im Mittel in eine um ca. 0,5 mm nach anterior und kranial veränderte Position führt, wenn exakt auf der Pfeilwinkelspitze verschlüsselt wird. Hierbei ist hervorzuheben, dass der Unterkiefer während der Aufzeichnung des Pfeilwinkels moderat geführt wurde [Utz et al., noch unveröffentlicht].

3.3 Nutzen

Die Stützstift-Registrierung ist ein valides Verfahren, um die Unterkieferposition einzustellen. Die Reproduzierbarkeit

ist bei bezahnten Patienten dem Checkbiss-Verfahren vergleichbar [100]. Ein normal belastbares Tegument vorausgesetzt, ist die Stützstift-Registrierung besonders für die Restauration zahnloser Patienten geeignet, weil bei unbezahnten Patienten die Registrierschablonen oder Totalprothesen während der Pfeilwinkelaufzeichnung und der Verschlüsselung auf das Tegument gedrückt werden und bei richtiger Indikation nicht dislozieren. Bei unbezahnten Patienten ist das Verfahren besser reproduzierbar als eine handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung [98].

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

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

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

4.1 Definition

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

oder bipolarer Form [72]. Das Elektromyogramm gestattet die Beurteilung der Innervation von motorischen Einheiten und Muskelgruppen, da die Stärke der Muskelkontraktion von der Zahl der innervierten Muskelfasern und der Anzahl der Aktionspotenziale pro Zeiteinheit abhängt. Die aufgezeichneten Aktionspotenziale spiegeln die neuromuskuläre Erregung der untersuchten Muskulatur wider und sind ein indirektes Maß für die mechanische Aktivität des Muskels [28]. Die Elektromyographie liefert Informationen anhand metrischer Daten über die Funktion der Aktivität einzelner Muskeln. Sie registriert zeitabhängige intra- oder intermuskuläre Aktivierungsmuster und gibt Hinweis auf die zugrundeliegenden zentralen Kontrollmechanismen [15].

Das mithilfe *bipolarer Oberflächen-elektroden* gemessene Elektromyogramm ist die am häufigsten angewandte Technik der Elektromyographie, da sie schnell und atraumatisch angewandt werden kann und zuverlässige, weitgehend reproduzierbare Ergebnisse liefert. Bei Ableitungen der Kaumuskulatur für die zahnärztliche Funktionsanalyse ist diese nicht-invasive Technik Mittel der Wahl, da die aus klinischer Sicht wichtigsten Muskeln – M. masseter und M. temporalis – relativ oberflächlich liegen.

4.2 Ziele und Verfahrensbewertung

Im Rahmen der zahnärztlichen Tätigkeit ist die Anwendung der Oberflächen-EMG mit bipolaren Hautelektroden im Bereich des M. masseter und des M. temporalis anterior relativ unproblematisch durchführbar.

Auf der Basis einer fundierten klinischen Funktionsdiagnostik und unter Beachtung spezieller methodischer Empfehlungen [22, 23, 50] ermöglicht die Oberflächen-Elektromyographie (EMG) die zusätzliche Ermittlung valider und reliabler quantitativer Daten zum Funktionszustand einzelner Kaumuskeln im Sinne einer **„neuromuskulären Funktionsanalyse“** [28]. Aussagekräftige EMG-Daten können im Zusammenhang mit den Parametern Ruheaktivität, maximale Muskelaktivierung, Frequenzspektrum bei anhaltender Belastung und Symmetrie des Kontraktionsverhaltens beider Kieferseiten gewonnen werden (Abb. 12–14) [33, 34].

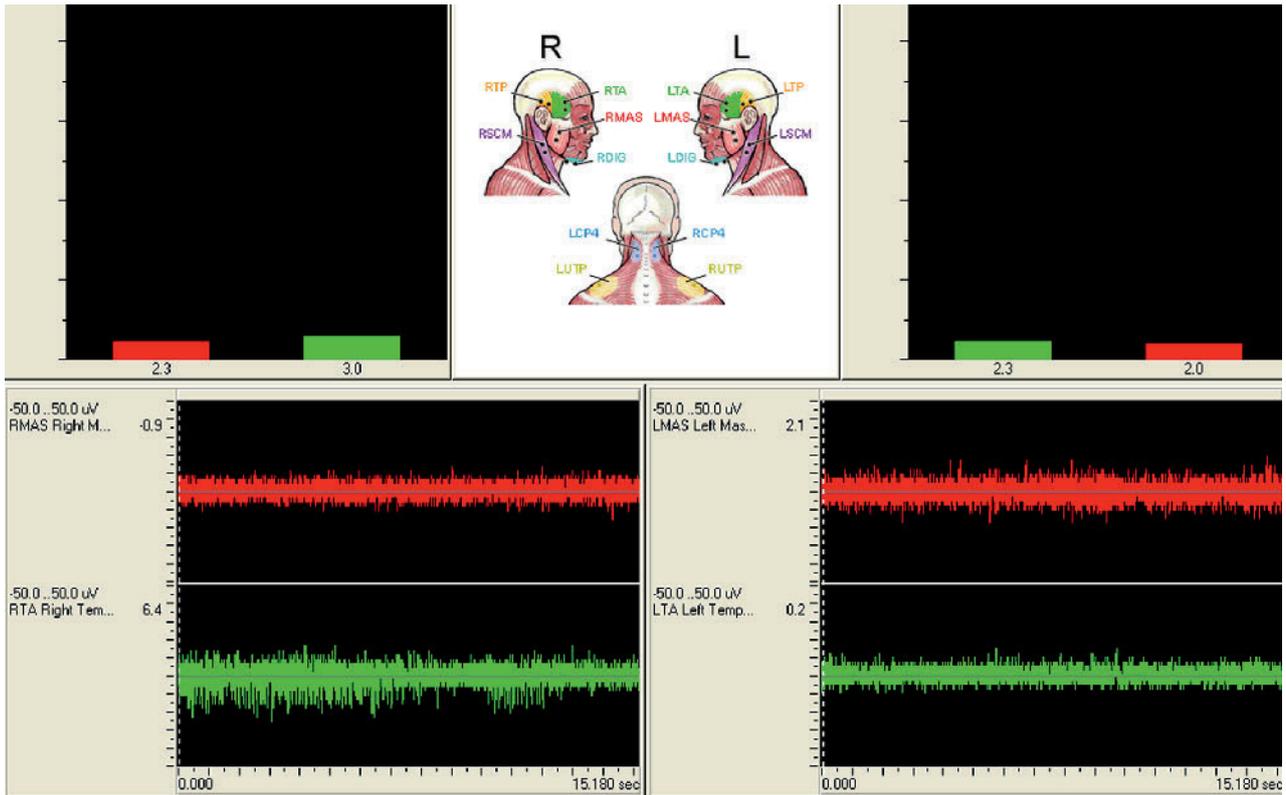


Abbildung 12 Aufzeichnung der Ruheaktivität des rechten und linken M. masseter (rot) und des rechten und linken M. temporalis ant. (grün). Die aufgezeichneten Ruheaktivitäten liegen in einem physiologischen Bereich. Einheit der EMG-Werte: Mikrovolt (Abb. 12: A. Hugger)

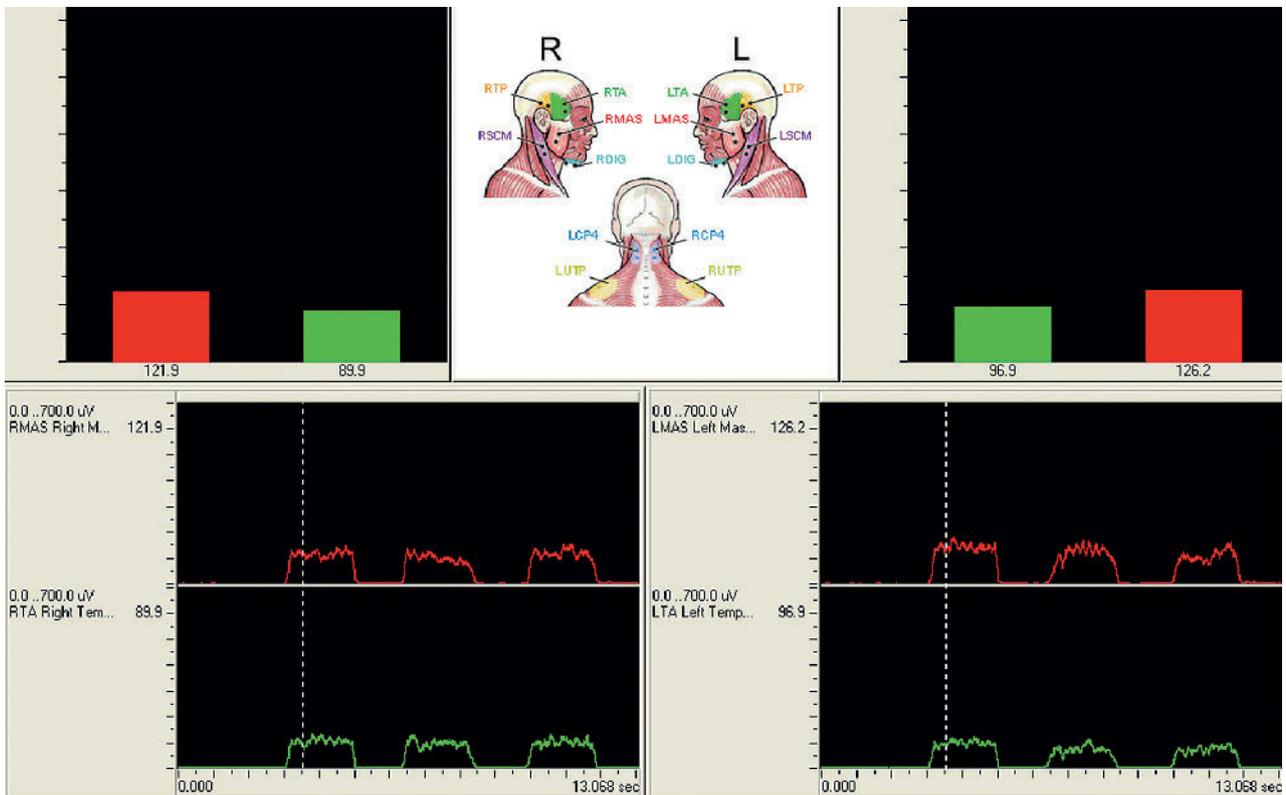


Abbildung 13 Aufzeichnung der Muskelaktivität des rechten und linken M. masseter (rot) und des rechten und linken M. temporalis ant. (grün) bei maximalem Aufbiss in habitueller Okklusion. Bei dreimaligem Aufbeißen in habitueller Okklusion finden deutliche Aktivitätssteigerungen in den untersuchten Muskeln statt, die als physiologisch zu bewerten sind. Innerhalb der Muskelgruppen liegt die Muskelaktivität im Rechts-Links-Vergleich recht balanciert vor. Einheit der EMG-Werte: Mikrovolt (Abb. 13: A. Hugger)

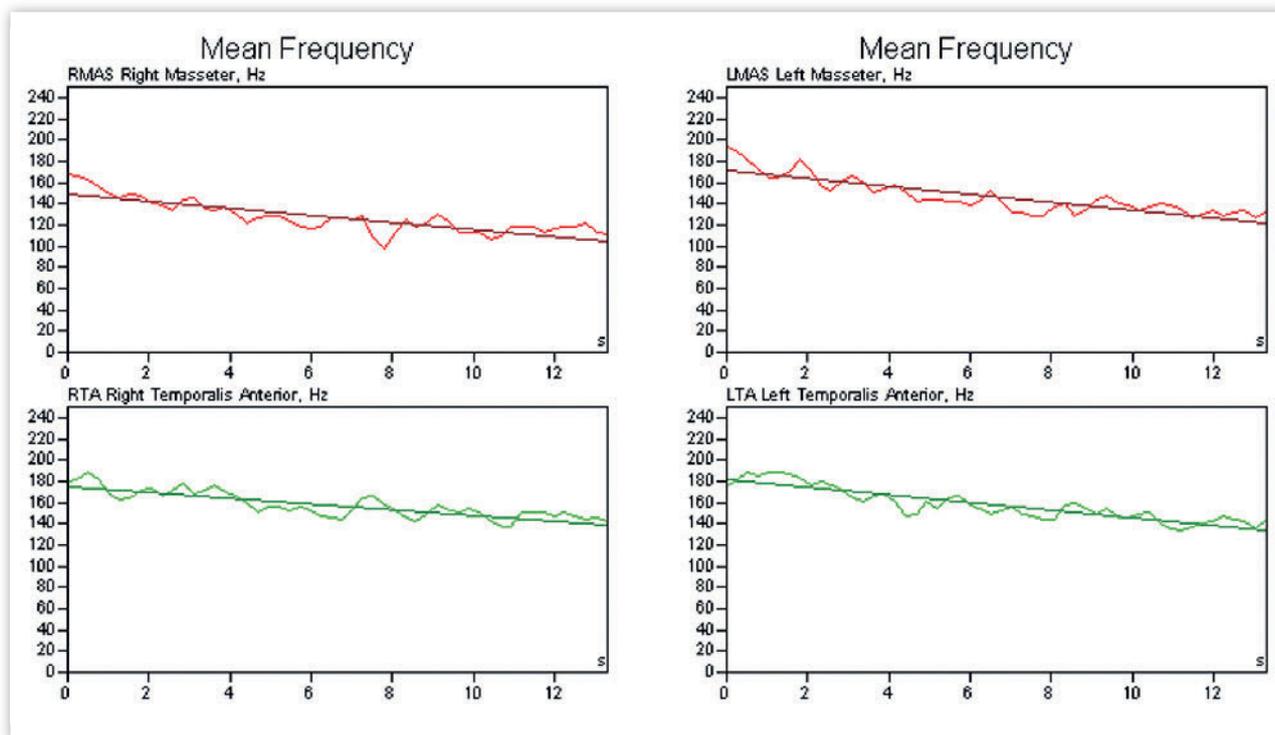


Abbildung 14 Verhalten der Kiefermuskulatur (Masseter rot, Temporalis ant. grün) im sog. Fatiguetest (bei anhaltendem maximalen Aufbiss); dargestellt werden Veränderungen der mittleren Frequenz (in Hertz) des Power-Spektrums zur Beurteilung des Erschöpfungszustandes der Muskulatur. Die leichte Abnahme der mittleren Frequenz ist bei anhaltendem maximalen Aufbeißen als physiologisch anzusehen. (Abb. 14: A. Hugger)

4.3 Nutzen

EMG in der zahnärztlichen Prothetik

Bei der Beurteilung der funktionellen Wertigkeit rekonstruktiver Maßnahmen werden klassischerweise die technische Ausführung und die Zufriedenheit des Patienten betrachtet. Die Einbeziehung der EMG liefert hierzu zusätzlich ergänzende, neuromuskuläre Aspekte berücksichtigende Informationen. Der Einsatz von EMG-Ableitungen im klinischen Alltag kann beispielsweise zum Vergleich erfolgen, um das neuromuskuläre Balanceverhalten in Interkuspitation vor und nach restaurativer Versorgung oder bei Korrektur der Okklusion nach Inkorporation von Zahnersatz zu überprüfen. Studien geben Hinweise darauf, dass sich Symmetrieunterschiede im Rekrutierungsverhalten der Muskulatur, ausgelöst durch okklusale Niveauunterschiede, am individuellen Patienten darstellen lassen [35, 36].

EMG in der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik und Funktionstherapie

Das neuromuskuläre System reagiert auf Schmerzen mit reproduzierbaren, elektromyographisch erfassbaren Verände-

rungen [67]. Die Oberflächen-Elektromyographie ist jedoch kein *direktes* Verfahren zur Objektivierung von Schmerzen [34].

Die für die klinische Beurteilung wichtigsten Abweichungen sind bei (maximaler) Kontraktion der Muskulatur, in der Ruheaktivität und beim Frequenzspektrum unter Belastung zu finden. Ferner wird über Symmetrieunterschiede im Kontraktionsverhalten der Muskulatur berichtet [33, 34].

Aus EMG-Ableitungen sind folgende ergänzende Informationen ableitbar:

- erhöhte Erschöpfbarkeit als Indikator für das Ausmaß der individuellen Muskelläsion,
- Minderung der Kontraktionsfähigkeit als Indikator für das Ausmaß der individuellen Muskelläsion,
- erhöhte Ruheaktivität als Hinweis auf Kiefergelenkläsionen, klinisch nicht manifeste Muskelläsionen, Stressfaktoren oder hypervigilante Disposition des Patienten,
- Darstellung der Veränderung des Rekrutierungsmusters der Muskulatur bei okklusaler Modifikation von Okklusionsachsen (Veränderung der maximalen Kontraktionsfähigkeit, Veränderung

des Rechts-Links-Balanceverhaltens) als Indikator für therapeutisch wirksame Effekte und zur Verlaufskontrolle.

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

Nachbemerkung der Autoren

Mit der vorliegenden Leitlinie ist für die vier behandelten Verfahren der instrumentellen Funktionsanalyse anhand der einleitend genannten Schlüsselfragen der wissenschaftliche Stand beschrieben.

Mit der Entwicklung und Veröffentlichung der Leitlinie schließen die DGFDT sowie alle anderen beteiligten Fachgesellschaften und Körperschaften eine zu lange bestehende Lücke. Wie wichtig derartige Leitlinien sind zeigte sich im Jahre 2010, als auf Veranlassung des DIMDI ein Health Technology Assessment HTA veröffentlicht wurde. Dessen Thema sollte ein Vergleich zwi-

