

S2k-Leitlinie (Langfassung)

Instrumentelle zahnärztliche Funktionsanalyse und Kieferrelationsbestimmung

AWMF Registernummer: 083-017

Stand: Juli 2022

Gültig bis: Juli 2027

Federführende Fachgesellschaften:

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

Beteiligung weiterer AWMF-Fachgesellschaften:

Deutsche Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (DGMKG)
Deutsche Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien
(DGPro)

Beteiligung weiterer Fachgesellschaften/ Organisationen:

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

publiziert
bei:



Koordination, Autoren:

Prof. Dr. Karl-Heinz Utz (DGFD, Leitlinienkoordination)
Prof. Dr. Alfons Hugger (DGFD, Leitlinienkoordination)

Ko-Autoren:

Priv.-Doz. Dr. M. Oliver Ahlers (DGFD)
Klaus Bartsch (VDZI)
Dr. Jörg Beck (KZBV)
Dr. Jochen Feyen (DGÄZ)
Dr. Gunnar Frahn (DAZ)
Dr. Rugzan Jameel Hussein (KZBV)
Dr. Bruno Imhoff (DGFD)
Prof. Dr. Bernd Kordaß (DGCZ)
Dr. Birgit Marré (DGZMK)
Prof. Dr. Dr. Prof. h.c. Andreas M. Neff (DGMKG)
Prof. Dr. Peter Rammelsberg (DGPro)
Marion Schellmann (VMF)
Prof. Dr. Olaf Winzen (BZÄK)
Prof. Dr. Anne Wolowski (AKPP)

Methodische Begleitung:

Dr. Cathleen Muche-Borowski (neutrale Moderation)
Dr. Anke Weber, M.Sc. (DGZMK, Leitlinienbeauftragte)

Jahr der Erstellung: Dezember 2015

vorliegende Aktualisierung/ Stand: 31. Juli 2022, **Version:** 2.0

gültig bis: 30. Juli 2027

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

Leitlinien unterliegen einer ständigen Qualitätskontrolle, spätestens alle 5 Jahre ist ein Abgleich der neuen Erkenntnisse mit den formulierten Handlungsempfehlungen erforderlich. Die aktuelle Version einer Leitlinie finden Sie immer auf den Seiten der DGZMK (www.dgzmk.de) oder der AWMF (www.awmf.org). Sofern Sie die vorliegende Leitlinie nicht auf einer der beiden genannten Webseiten heruntergeladen haben, sollten Sie dort nochmals prüfen, ob es ggf. eine aktuellere Version gibt.

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	i
2	Informationen zur Leitlinie	3
2.1	Patienten- und Anwenderzielgruppen	3
2.2	Neuerungen dieser Leitlinie	3
2.3	Schlüsselfragen.....	3
2.4	Methodisches Vorgehen	3
2.5	Redaktioneller Hinweis.....	4
3	Vorbemerkungen.....	4
3.1	Allgemeine Definition und Einteilung der instrumentellen zahnärztlichen Funktionsanalyse	4
4	Teil 1: Instrumentelle Bewegungsanalyse	5
4.1	Definition und Entwicklung	5
4.1.1	Definition.....	5
4.1.2	Entwicklung	5
4.2	Ziele	7
4.2.1	Grundlegende Ziele der instrumentellen Bewegungsanalyse.....	7
4.2.2	Spezielle Zielsetzungen.....	7
4.3	Nutzen	10
4.3.1	Validität und klinische Reliabilität elektronischer Bewegungsaufzeichnungen	10
4.3.2	Kriterien für die Auswertung von Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen	11
4.3.3	Struktur bezogenes diagnostisches Potenzial von Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen.....	13
4.3.4	Nutzen für Patienten/ therapeutische Konsequenzen aus Bewegungsaufzeichnungen; Zusammenfassung.....	14
5	Teil 2: Kondylenpositionsanalyse	16
5.1	Definition und Entwicklung	16
5.1.1	Definition.....	16
5.1.2	Entwicklung	16
5.2	Ziele	17
5.2.1	Methoden zur Beschreibung kondylärer Positionen und deren Beurteilung	18
5.2.2	Messung kondylärer Positionen unter Auswertung bildgebender Verfahren	18
5.2.3	Indirekte Messung kondylärer Positionen mit Hilfe von Artikulatoren oder stationärer Kondylenpositions-Messinstrumente.....	19
5.2.4	Direkte Messung kondylärer Positionen am Patienten.....	20
5.3	Nutzen	21
5.4	Zusammenfassung.....	22
6	Teil 3: Kieferrelationsbestimmung	23
6.1	Vertikale Kieferrelationsbestimmung	23
6.1.1	Definitionen.....	23

6.1.2	Ziele	24
6.1.3	Entwicklung, Einflüsse und Verfahren	24
6.1.4	Besonderheiten bei bezahnten Patienten	28
6.1.5	Zusammenfassung	29
6.2	Horizontale Kieferrelationsbestimmung	30
6.2.1	Definition	30
6.2.2	Ziele	30
6.2.3	Vorschläge und Folgen	31
6.2.4	Referenzpositionen für die horizontale Kieferrelationsbestimmung	33
6.2.5	Zusammenfassung	50
7	Teil 4: Gesichtsbogen	52
7.1	Definition	52
7.2	Ziele	52
7.3	Methodik	53
7.4	Nutzen	54
7.4.1	Gesichtsbögen in herkömmlicher Anwendung	54
7.4.2	Gesichtsbögen mit Priorität ästhetischer Parameter	56
7.4.3	Gesichtsbögen bei digitalen Verfahren	56
7.5	Zusammenfassung	57
8	Teil 5: Oberflächen-Elektromyographie der Kaumuskulatur in der zahnärztlichen Anwendung	60
8.1	Definition und Entwicklung	60
8.1.1	Definition	60
8.1.2	Historische Entwicklung	61
8.2	Ziele	61
8.3	Nutzen	61
8.3.1	EMG in der zahnärztlichen Prothetik	61
8.3.2	EMG in der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik und Funktionstherapie	62
8.4	Zusammenfassung	63
9	Zukünftiger Forschungsbedarf	64
9.1	Instrumentelle Bewegungsanalyse	64
9.2	Kondylenpositionsanalyse	64
9.3	Kieferrelationsbestimmung	65
9.3.1	Vertikale Kieferrelationsbestimmung	65
9.3.2	Horizontale Kieferrelationsbestimmung	65
9.4	Gesichtsbogen	66
9.5	Oberflächen-Elektromyographie der Kaumuskulatur	66
10	Literaturverzeichnis	67

2 Informationen zur Leitlinie

Vor dem Hintergrund multipler verschiedener Untersuchungstechniken und -instrumente in der instrumentellen zahnärztlichen Funktionsanalyse wurden handlungsleitende Hilfestellungen vielfach vermisst [474]. Eine geeignete Orientierungshilfe wurde mit der vorliegenden Leitlinie insbesondere im Hinblick auf Einteilung, Zielsetzung und Nutzen sowie zu erwartende therapeutische Konsequenzen der verfügbaren Techniken und Instrumente im Jahr 2015 vorgelegt [508]. Diese Leitlinie wurde im Jahr 2022 turnusgemäß überarbeitet.

2.1 Patienten- und Anwenderzielgruppen

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

2.2 Neuerungen dieser Leitlinie

Neben der inhaltlichen Überarbeitung aller Abschnitte bezüglich neuerer Studien wurde die Thematik "Kieferrelationsbestimmung" (Teil 3) und "Gesichtsbogen" (Teil 4) neu aufgenommen. Diese Leitlinie löst daher die diesbezüglichen früheren wissenschaftlichen Stellungnahmen der DGZPW (jetzt DGPro) aus dem Jahr 2010 zu den genannten Themen ab [327,517].

2.3 Schlüsselfragen

Übergeordnet wurden folgende drei Schlüsselfragen formuliert:

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

Spezifische Fragestellungen finden sich darüber hinaus in den einzelnen Kapiteln.

2.4 Methodisches Vorgehen

Es handelt sich um eine konsensbasierte S2k-Leitlinie nach den Vorgaben der AWMF. Die teilnehmenden Gesellschaften haben für die Erstellung dieser Leitlinie keine finanziellen oder anderen Unterstützungen von kommerziellen Interessengruppen erhalten. Eine Aktualisierung der Leitlinie ist für das Jahr 2027 geplant. Details zum methodischen Vorgehen sowie zur redaktionellen Unabhängigkeit sind dem Leitlinienreport zu entnehmen.

2.5 Redaktioneller Hinweis

Ausschließlich aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher, weiblicher und weiterer Sprachformen verzichtet. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung der jeweils anderen Geschlechter. Sämtliche Personenbezeichnungen in diesem Dokument sind als geschlechtsneutral zu verstehen.

3 Vorbemerkungen

3.1 Allgemeine Definition und Einteilung der instrumentellen zahnärztlichen Funktionsanalyse

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. Die Betrachtung der Funktion kann sich dabei auf unterschiedliche Aspekte fokussieren, vor allem auf

- kinematische Aspekte des Unterkiefers (Aufzeichnung von Bewegungen und deren Analyse zur Programmierung von Artikulatoren/ Bewegungssimulatoren und/ oder zur Bestimmung der Funktionstüchtigkeit des kranio-mandibulären Systems),
- die Kondylenposition,
- die (vertikale und horizontale) Kieferrelation,
- die Orientierung der Zahnreihen im Schädel/ Gesicht und ihre Übertragung in den Artikulator/ Bewegungssimulator und auf
- Aspekte der Muskelaktivität der Kiefermuskulatur bei bestimmten Unterkieferhaltungen / Unterkieferlagen, Unterkieferbewegungen oder komplexen Aufgaben wie dem Kauen.

Dementsprechend ist die Leitlinie "Instrumentelle zahnärztliche Funktionsanalyse und Kieferrelationsbestimmung" in fünf Kapitel gegliedert:

- Teil 1: "Instrumentelle Bewegungsanalyse",
- Teil 2: "Kondylenpositionsanalyse",
- Teil 3: "Kieferrelationsbestimmung",
- Teil 4: "Gesichtsbogen" und
- Teil 5: "Oberflächen-Elektromyographie der Kaumuskulatur in der zahnärztlichen Anwendung".

4 Teil 1: Instrumentelle Bewegungsanalyse

4.1 Definition und Entwicklung

4.1.1 Definition

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

Von der instrumentellen Bewegungsanalyse ist die instrumentelle Okklusionsanalyse zu unterscheiden [60,195,199,265,267,268]:

- Die **instrumentelle Bewegungsanalyse** erfasst die Bewegungsfunktion mit geeigneten Messsystemen auf kinematischer Grundlage. Im Fokus der Betrachtung stehen Unterkieferbewegungen mit zahngeführten und nicht zahngeführten Bewegungsanteilen.
- Die **instrumentelle Okklusionsanalyse** beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit einem spezifischen Ausschnitt von Bewegungen und Positionen, d. h. mit der okklusalen Kontakt-Situation bei statischer und dynamischer Okklusion. Zu diesem Zweck bedient man sich bei der instrumentellen Okklusionsanalyse in der Regel eines Artikulators, der die okklusale Konstellation anhand montierter Kiefermodelle veranschaulicht. Mit Hilfe moderner Computertechnologie ist zunehmend auch die Darstellung und Analyse der Okklusion in virtueller Simulation möglich [261].

Die Erfassung der Kinematik kann zudem mit der Detektion von Kiefergelenkgeräuschen (Vibrationsanalyse) oder mit der Aufzeichnung der Muskelaktivität der Kiefermuskulatur, insbesondere des M. masseter und des M. temporalis pars anterior, kombiniert werden (s. g. kinematische Oberflächen-Elektromyographie) [216,260]. Nachfolgende Ausführungen zur instrumentellen Bewegungsanalyse beziehen sich – wie oben erwähnt – ausschließlich auf rein kinematische Aspekte.

4.1.2 Entwicklung

Das Bestreben, Bewegungen des Unterkiefers aufzuzeichnen und zu dokumentieren, hat sich im zahnärztlichen Bereich zu Beginn des 20. Jahrhunderts intensiviert [190]. Vor allem mit mechanischen Aufzeichnungssystemen wurden grundlegende Untersuchungen durchgeführt, die insbesondere mit Namen wie Gysi, McCollum und Stuart, Schröder sowie Gerber verbunden sind. Neben forschungsbezogenen Aspekten hatten diese Untersuchungen zum Ziel, die okklusale Gestaltung zahnärztlich-restaurativer Arbeiten auf den individuellen Patienten ausgerichtet zu optimieren. Hierfür lieferte die Bewegungsaufzeichnung patientenbezogene Werte für die Einstellung der

Führungselemente von Artikulatoren ("Artikulator-Programmierung") [49,65,82,171,280,281,368,369,386]. Seit den 1970er Jahren gewann die Bewegungsaufzeichnung darüber hinaus an Bedeutung für die Beurteilung der Beweglichkeit und Koordination des Unterkiefers sowie der Lage und Stabilität von Unterkiefer-Ausgangspositionen in Bezug zu entsprechenden Bewegungsausführungen [122,216,285]. Dieser weitere funktionsdiagnostische Aspekt von Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen wurde zudem durch Studien unterstrichen, die die Bedeutung struktureller intraartikulärer Veränderungen des Kiefergelenkes für die Ausbildung von Funktionsstörungen untersuchten und die als Grundlage der Behandlung dieser Funktionsstörungen okklusale Maßnahmen vorsahen [111,377].

Ausgehend von Entwicklungen der 1970er und 1980er Jahre wurden verstärkt Anstrengungen unternommen, den zum Teil hohen zeitlichen, apparativen bzw. personellen Aufwand [457] bei mechanischer Aufzeichnung zu reduzieren, das Aufzeichnen von Unterkieferbewegungen mit Hilfe elektronischer Messsysteme zu verbessern und praxistauglich zu gestalten, gleichzeitig aber auch die Genauigkeit und Auswertbarkeit der Aufzeichnungen zu erhöhen. Für den Einsatz in der zahnärztlichen Praxis stehen seit vielen Jahren elektronische Geräte zur Verfügung, die auf der Basis unterschiedlicher Messtechnologien eine Bewegungserfassung des Unterkiefers erlauben [15,41,104,260,321]. Diese speziell auf den zahnmedizinischen Bereich fokussierte Bewegungserfassung ist grundsätzlich vergleichbar mit Verfahren, die zur bewegungs- bzw. haltungsbezogenen Funktionsdiagnostik in anderen Bereichen des muskuloskelettalen Systems des Menschen zum Einsatz gelangen, beispielsweise mit der Ganganalyse im orthopädisch-chirurgischen Kontext oder mit instrumentellen Untersuchungsverfahren in der Rehabilitations-, Arbeits- und Sportmedizin [31,335,527].

Bei extraoraler Applikation zeichnen die verschiedenen praxistauglichen elektronischen Messsysteme Unterkieferbewegungen mit Hilfe entsprechender Sensoren gelenknah (kondylennah), inzisalnah oder okklusionsebenennah auf. Insgesamt lassen sich folgende Systemgruppen unterscheiden (modifiziert nach [195]):

- extraoral, gelenknah und berührungshaft messende Systeme
- extraoral, gelenknah und berührungslos messende Systeme
- extraoral, okklusionsebenennah und berührungslos messende Systeme
- extraoral, inzisalnah und berührungslos messende Systeme
- intraoral, berührungshaft messende Systeme
- intraoral, berührungslos messende Systeme.

Bei Erfassung aller sechs Freiheitsgrade sind diese Systeme in der Lage, auf beliebige Punkte des Unterkiefers umzurechnen [190,194,195,259,328].

4.2 Ziele

4.2.1 Grundlegende Ziele der instrumentellen Bewegungsanalyse

Empfehlung 1: Ziele der instrumentellen Bewegungsanalyse (modifiziert in 2022)	
<p>Die instrumentelle Unterkiefer-Bewegungsanalyse soll mit dem Ziel, Informationen zu einem oder mehreren der nachfolgenden Punkte zu liefern, durchgeführt werden:</p> <ul style="list-style-type: none">• Patientenindividuelle Werte mit dem Ziel, zahnärztliche Maßnahmen und zahntechnische Prozesse auf funktionell individuelle Gegebenheiten des Patienten auszurichten und zu optimieren (sog. individuelle Artikulator-Einstellung, Artikulator-Programmierung bzw. Bewegungssimulation). [12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]• Präzisierung dysfunktioneller bewegungsbezogener Erscheinungsformen im Rahmen funktionsorientierter Diagnostik (Funktionsdiagnostik). Im diagnostischen Prozess liefert die instrumentelle Bewegungsanalyse als weiterführendes Untersuchungsverfahren zusätzliche, auf der klinischen Funktionsanalyse aufbauende Informationen, die zur Spezifizierung klinisch basierter Diagnosen führen können (qualitativer Aspekt). Ferner erlaubt sie in einigen Fällen, das Ausmaß bzw. den Schweregrad funktioneller Beeinträchtigung differenzierter darzustellen (quantitativer Aspekt). [12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]• Auswertung und Dokumentation bewegungsbezogener Veränderungen im Verlauf der Anwendung therapeutischer Maßnahmen, insbesondere im Rahmen der Funktionstherapie. Im therapeutischen Kontext liefert die instrumentelle Bewegungsanalyse Anhaltspunkte für die Verbesserung des Funktionsgeschehens und dokumentiert funktionsbasierte Veränderungen im Behandlungsverlauf. [12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

4.2.2 Spezielle Zielsetzungen

Im Zuge eines zunehmend sich entwickelnden digitalen Workflows in der restaurativen Zahnmedizin ist die instrumentelle Bewegungsanalyse als eine wichtige Ergänzung anzusehen, um die individuelle Bewegungsfunktion des Unterkiefers messtechnisch für die okklusale Gestaltung von Restaurationen im CAD/CAM-Prozess abzubilden [261,265]. Der Einsatz elektronischer Verfahren im Rahmen der instrumentellen Bewegungsanalyse ermöglicht die für den genannten Herstellungsprozess

erforderliche individuelle, patientenbezogene Datengenerierung zur realistischen Simulation zahngeführter Bewegungen [198].

Empfehlung 2: Bedeutung der klinischen Funktionsanalyse (geprüft + unverändert übernommen)	
<p>Im Bereich der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik baut die instrumentelle Bewegungsanalyse auf der klinischen Funktionsanalyse auf. Die klinische Funktionsanalyse ist der erste und der wichtigste Schritt zur Beurteilung des Funktionszustandes eines Patienten mit Funktionsstörungen des Kausystems und soll daher <u>vor</u> der instrumentellen Bewegungsanalyse durchgeführt werden.“</p> <p>.</p> <p>[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Literatur: [104,260]	

Neben der Erfassung der subjektiv vom Patienten angegebenen Beschwerden (insbesondere Schmerzen, aber auch Bewegungsbeeinträchtigungen oder als störend empfundene Gelenkgeräusche) ist das Erheben von objektivierenden Befunden für die Zahnärztin/den Zahnarzt bedeutsam: Zum einen gilt dies für den diagnostischen Prozess, der eine klinische Diagnosestellung ermöglicht; zum anderen liefert die Gegenüberstellung bzw. das Nebeneinander von subjektiven Eindrücken und objektiven Befunden Impulse auf der Ebene der Patienten-Arzt-Interaktion im Therapieverlauf (Veranschaulichung, Motivation). Die instrumentelle Bewegungsanalyse ergänzt und spezifiziert die objektivierende Befunderhebung: Für den Aspekt der Unterkieferbewegungen ermöglicht sie eine differenzierte Beurteilungen des Funktionszustandes in qualitativer und quantitativer Hinsicht [266]. 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 ergänzt und erweitert [13,14,192,198].

Bezeichnungen und Begriffe:

Neben der Bezeichnung "Funktionsstörung des Kausystems" sind die Begriffe "craniomandibuläre Dysfunktion (CMD)" und "temporomandibular disorder (TMD)" gebräuchlich [197]. Diese Begriffe sind allerdings nicht als synonyme Begriffe für bestimmte muskuloskelettale Erkrankungen im Gesichts-/Kopfbereich zu verstehen, da CMD und TMD auf verschiedene klinische Aspekte - Dysfunktion einerseits und Schmerz andererseits - fokussieren, die aber in unterschiedlicher Form und Ausprägung in Beziehung stehen. Der Begriff "Myoarthropathie des Kausystems (MAP)" lässt sich vor diesem Hintergrund eher der Bezeichnung TMD zuordnen. Als Beispiel einer möglichen Interaktion zwischen Dysfunktion und Schmerz sind motorische Adaptationen im Zusammenhang mit langanhaltenden Schmerzen möglich, die nach einer Schmerzbeseitigung nicht spontan reversibel sind, da es auf der

strukturbezogenen Ebene zu manifesten Veränderungen gekommen ist. Auch im Rahmen von Funktionseinschränkungen, die aus prothetisch-restaurativem Blickwinkel betrachtet als relevant einzustufen sind – zum Beispiel Zahnverlust, Zahnelongationen und Zahnwanderungen –, sind dysfunktionelle motorische Adaptationen zu erwarten [192].

Empfehlung 3: Indikation der instrumentellen Diagnostik (geprüft + unverändert übernommen)	
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. [12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Empfehlung 4: Instrumentelle Bewegungsanalyse keine Schmerzerfassung (geprüft + unverändert übernommen)	
Die instrumentelle Bewegungsanalyse ist keine Methode der Schmerzerfassung und soll nicht als solche eingesetzt werden. [12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Die instrumentelle Bewegungsanalyse ist auch keine Form der objektiven "Schmerzbefundung" oder eine Methode der Schmerzbehandlung. Vielmehr kann die instrumentelle Bewegungsanalyse dazu dienen, Auswirkungen eines orofazialen Schmerzgeschehens auf die Bewegungsfunktion zu beurteilen, und kann helfen, die Beziehung zwischen Schmerzgeschehen einerseits und Funktionsfähigkeit andererseits auf der Stufe der Diagnosestellung wie auch auf der Stufe des Therapieverlaufs zu klären [15,482,483].

Statement 1: Ziele der Bewegungsaufzeichnungen des Unterkiefers (modifiziert in 2022)	
Die instrumentelle Bewegungsanalyse ermöglicht – wie auch die klinische Funktionsanalyse – in der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik und -therapie das detaillierte Erkennen und Abschätzen des Ausmaßes an Funktionsbeeinträchtigung sowohl für den Patienten wie auch für die Zahnärztin / den Zahnarzt auf der Grundlage spezifischer Parameter (Bewegungskapazität, Koordination, okklusale Stabilität und gelenkbezogene Zentrierung). [12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens

Expertenkonsens

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. -tätigkeit dargestellt und verfolgt werden; sie ist hilfreich in der klinischen Entscheidungsfindung bei Fragestellungen, die weitere/ ergänzende Maßnahmen im Rahmen der Funktionsdiagnostik bzw. Funktionstherapie betreffen oder die Art und Weise der okklusalen Gestaltung bei zahnärztlich-restaurativen Maßnahmen beinhalten [192,356,436].

4.3 Nutzen

4.3.1 Validität und klinische Reliabilität elektronischer Bewegungsaufzeichnungen

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

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

Klinische Reliabilität: Grundsätzlich sind für jegliche Formen der Bewegungsausführung – seien sie auf inzisale oder kondyläre Bewegungen bezogen – natürliche, biologische Schwankungen im Sinne intraindividuelle, wie auch interindividueller Variabilität festzustellen. In der Regel weisen Bewegungsaufzeichnungen innerhalb eines Untersuchungstermins eine höhere Übereinstimmung auf als Aufzeichnungen, die zu verschiedenen Untersuchungsterminen erstellt wurden. Wie bei allen an und durch Menschen durchgeführten Untersuchungen beeinflussen Art und Umfang an Instruktion und Erfahrung mit der Untersuchungsmethodik auf Seiten des Probanden / Patienten wie auch des Untersuchers das Ausmaß an Schwankungen bei bewegungsbezogenen Daten. Der jeweilige Funktionszustand des Kausystems (funktionsgesund vs. verschiedene Ausprägungen craniomandibulärer Dysfunktion) nimmt ebenfalls Einfluss auf Reproduzierbarkeit bzw. Schwankungsbreite der Bewegungsausführung. Öffnungs- und Schließbewegungen zeigen durch verstärkte neuromuskuläre Beeinflussung in der Regel eine höhere Variabilität in Bezug auf das Bewegungsmuster und eine größere Streuung in Bezug auf die Bahnlänge als zahngeführte und damit okkusal determinierte Bewegungsausführungen bei Vorschub- und Seitwärtsbewegungen. Hinsichtlich kondylär bezogener Parameter sind Werte für die sagittale Kondylenbahnneigung mit einer größeren intra- und intersessionalen Übereinstimmung versehen als Werte für den Bennett-Winkel.

Empfehlung 5: Mehrfache Bewegungserfassungen (geprüft + unverändert übernommen)

Einzelne Bewegungsabläufe **sollen** mehrfach aufgezeichnet werden, um zufällige Erscheinungen (qualitativ wie auch quantitativ) von konstant auftretenden Befunden zu unterscheiden.

[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Starker Konsens

Expertenkonsens

Statement 2: Zuverlässigkeit von Bewegungsaufzeichnungen des Unterkiefers (modifiziert in 2022)

Insgesamt sind Bewegungsaufzeichnungen des Unterkiefers – unter Beachtung messtechnischer und untersuchungsbezogener Einflüsse und in Kenntnis physiologischer Prozesse – ausreichend zuverlässig (reliabel), um die Bewegungskapazität beider Kiefergelenke zeitgleich und getrennt darstellen zu können.

[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Starker Konsens

Expertenkonsens

4.3.2 Kriterien für die Auswertung von Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen

Empfehlung 6: Analyse entsprechend der DGFD-T-Empfehlung (Konsensus-Papier) (geprüft + unverändert übernommen)

Die Analyse der Bewegungsfunktion des Unterkiefers **soll** entsprechend der Kriterien des Konsensus Papiers der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFD-T)¹ erfolgen (zusammengefasst in einer Kriterien-Matrix).

[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Starker Konsens

¹ "Stellungnahme im Rahmen der Erarbeitung von diagnostischen Kriterien für Dysfunktion: Die Bewegungsfunktion des Unterkiefers: Konzept zur Strukturierung von Analysekriterien und zur Standardisierung bei der computerunterstützten Aufzeichnung" (Konsensus-Workshop des Arbeitskreises Kaufunktion und Orale Physiologie am 16.11.2012 im Rahmen der 45. Jahrestagung 2012 der DGFD-T in Bad Homburg) 192.

Expertenkonsens	
Statement 3: Erfassung der Daten zur Artikulator-Einstellung (geprüft + unverändert übernommen)	
<p>Mit Hilfe der instrumentellen Bewegungsanalyse lassen sich folgende Daten für die Einstellung eines Artikulators bzw. die Programmierung eines Bewegungssimulators erheben (dynamische Funktionsparameter):</p> <ul style="list-style-type: none"> • sagittale Kondylenbahn-Neigungswinkel (Winkel der Protrusionsbahnen) • Bennett-Winkel (Winkel der Mediotrusionsbahnen) • Immediate Sideshift (Form der Mediotrusionsbahnen) • sagittale und frontale Winkel des justierbaren Frontführungstellers. <p>[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Statement 4: Beurteilbare Aspekte der Bewegungsaufzeichnung (modifiziert in 2022)	
<p>Zu diagnostischen Zwecken und zur therapeutischen Verlaufsdokumentation sind ferner nachfolgende Aspekte der Bewegungsfunktion mit Hilfe der instrumentellen Bewegungsanalyse beurteilbar (geeignete Messsysteme und Untersuchungsprotokoll mit standardisiertem Vorgehen vorausgesetzt):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bewegungskapazität zur Erfassung des Ausmaßes maximaler Bewegungsmöglichkeiten des Unterkiefers • Koordination des Ablaufs von Unterkieferbewegungen am jeweiligen Betrachtungsort sowie der Beziehung zwischen rechter und linker Unterkieferseite • okklusale und gelenkbezogene Stabilität der Zentrierung zur Erfassung der Reproduzierbarkeit der Ausgangs- bzw. Referenzposition des Unterkiefers <p>[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Zudem lassen sich Aufzeichnungen der beim Kauen vollzogenen Unterkieferbewegungen (kinematische Kaufunktionsanalyse, zum Teil in Kombination mit Elektromyographie) dazu nutzen, Daten für spezifische, das Kauen charakterisierende Parameter zu liefern – unter Berücksichtigung der hierzu erforderlichen speziellen Voraussetzungen (Standardisierung des Kaugutes etc.): u.a. Kaufrequenz, Dauer der Kausequenz, Anzahl der Kauzyklen, Dauer der Kauzyklen, kumulative Länge der inzisalen Bewegungsbahn im Rahmen einer Kausequenz [192,195].

Darüber hinaus erlaubt die Auswertung gelenknaher Bewegungsaufzeichnungen (so genannter Kondylenbahnen, die vornehmlich Öffnungs-/ Schließbewegungen bzw. Vorschubbewegungen berücksichtigen) diagnostische Struktur bezogene Rückschlüsse auf die intraartikuläre Situation, insbesondere zur Diskus-Kondylus-Beziehung [40,190,259,377].

4.3.3 Struktur bezogenes diagnostisches Potenzial von Unterkiefer-Bewegungsaufzeichnungen

In Bezug auf das diagnostische Potential grundsätzlich zu unterscheiden sind kondyläre und inzisale Aufzeichnungen der Unterkieferbewegungen. *Kondyläre* Bewegungsaufzeichnungen weisen eine höhere Spezifität als Sensitivität auf. In Bezug auf Diskusverlagerungen werden richtig negative Befunde zu einem relativ höheren Prozentsatz ermittelt als richtig positive Befunde; anders ausgedrückt ist die Wahrscheinlichkeit für falsch positive Befunde deutlich niedriger als für falsch negative Befunde. Hinzu kommt, dass die Spannbreite der Werte für die Sensitivität deutlich größer ist als diejenige für die Spezifität. Werden die Angaben zur Sensitivität und Spezifität zur diagnostischen Genauigkeit zusammengefasst (Quotient aus der Zahl richtig positiver und negativer Befunde durch die Gesamtzahl der Befunde), ergeben sich im Mittel Werte in einem Bereich um 0,7 bis 0,8.

Im Gegensatz zu *kondylären* Bahnsuren zeigen die auf *inzisale* Bewegungsbahnen bezogenen Befunde Deviation und Deflexion eine in der Regel geringe bis mäßige Sensitivität, Spezifität und Genauigkeit. Ebenfalls auf inzisale Bewegungen bezogene Befunde plötzlicher Geschwindigkeitsveränderungen zeigen hohe Sensitivitätswerte in Verbindung mit einer sehr geringen Spezifität, so dass besonders bei diesem Kriterium die Gefahr einer hohen Zahl falsch positiver Befunde besteht [308]. Durch gezielte Zusammenfassung inzisaler und kondylärer Parameter verbessert sich die diagnostische Zuverlässigkeit [266].

Kondyläre Bewegungsaufzeichnungen lassen mit Einschränkungen Rückschlüsse auf die intraartikuläre Situation zu, insbesondere zur Kondylus-Diskus-Beziehung und eingeschränkt zum artikulären Strukturstand. 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 ist als Spezifität.

Empfehlung 7: Beschränkungen der rein inzisalen Diagnostik (modifiziert in 2022)

Eine nur 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.

[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Starker Konsens

Expertenkonsens

Empfehlung 8: Instrumentelle Bewegungsanalyse zum Screening (modifiziert in 2022)	
Aufgrund des hohen Aufwands und der geringen Sensitivität soll die instrumentelle Bewegungsanalyse zum Screening im Hinblick auf intraartikuläre Störungen nicht genutzt werden. [12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

4.3.4 Nutzen für Patienten/ therapeutische Konsequenzen aus Bewegungsaufzeichnungen; Zusammenfassung

Statement 5: Konsequenzen aus der Bewegungsanalyse für restaurative und prothetische Restauration (neu in 2022)	
Zur <i>Einstellung eines Artikulators bzw. zur Programmierung eines Bewegungssimulators</i> werden individuelle Werte für dynamische Funktionsparameter (siehe Statement 3) aus Bewegungsaufzeichnungen – vor allem aus Protrusions- und Laterotrusions-Bewegungen – gewonnen, mit dem Ziel, zahnärztliche Maßnahmen und zahntechnische Prozesse auf funktionelle Gegebenheiten des Patienten auszurichten und zu optimieren. [12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Das Ziel der Übertragung der individuell ermittelten Werte in den Artikulator/ Bewegungssimulator ist es, die Bewegungen des technischen Geräts "Artikulator" bzw. der simulierbaren Bewegungen im "Bewegungssimulator" so weit wie möglich den realen Bewegungen des Patienten anzugleichen. Dies erfolgt mit der Absicht, zahntechnische Arbeiten ohne umfangreiche okklusale Korrekturen im Mund der Patientin und des Patienten einzugliedern. Damit wird der Patientin und dem Patienten die Adaptation erleichtert, indem die zahntechnische Gestaltung der Okklusalfächen möglichst optimal auf individuelle funktionelle Gegebenheiten abgestimmt und auf biomechanische Erfordernisse ausgerichtet ist [13,192,371].

Statement 6: Konsequenzen aus der Bewegungsanalyse für die Funktionstherapie (neu in 2022)	
<p>Anhand der wesentlichen Beurteilungskriterien</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bewegungskapazität, • Koordination, sowie • okklusale und gelenkbezogene Stabilität (siehe Statement 4) <p>ergeben sich auf der Grundlage individuell ermittelter Befunde der instrumentellen Bewegungsanalyse konkrete Folgerungen für die <i>zahnärztliche Funktionstherapie</i>.</p> <p>[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Die ermittelten Befunde können zwar anhand der klinischen Funktionsanalyse und ggf. der manuellen Strukturanalyse 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 [13,14,192,193,195,263,264]. Beispielhaft kann ein Mehrwert durch den Einsatz der instrumentellen Bewegungsanalyse bei folgenden Befunden erzielt werden:

- Einschränkungen der Unterkiefer-Bewegungskapazität (Limitation)
- deutlich erhöhte Mobilitätswerte des Unterkiefers (Hypermobilität)
- auffällig veränderte/ gestörte Koordination (bei Öffnungs- und Schließbewegungen, bei Seitschubbewegungen im Seitenvergleich)
- fehlende okklusale und/oder gelenkbezogene Stabilität.

5 Teil 2: Kondylenpositionsanalyse

5.1 Definition und Entwicklung

5.1.1 Definition

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

Vom Verfahren her können unterschieden werden:

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

Die Vermessung der Kondylenpositionen hat den Sinn, bei bezahnten Patienten die Differenzen zwischen einerseits einer von der Zahnärztin / vom Zahnarzt beeinflussten handgeführten Kieferrelationsbestimmung, nach dorsal-kranial/kranial/kranial-anterior limitierten und von der Zahnstellung unabhängigen Unterkieferhaltung und andererseits der kondylären Position bei maximaler Interkuspidation darzustellen. Auf diese Weise kann man den Streubereich der kondylären Stellungen feststellen und die Eignung als Ausgangslage für zahnärztliche Rekonstruktionen prüfen.

5.1.2 Entwicklung

Die Prinzipien der Kondylenpositionsanalyse wurden im Jahr 1939 zunächst von Thielemann [471] und 1957 von Posselt [363,364] sowie nachfolgend von anderen beschrieben [133,294,296,302,417,437]. Die kondylären Positionen wurden in einer ersten Realisierung indirekt unter Einsatz umgebauter - den Artikulatoren ähnlichen Geräten - mit mechanischen Messuhren im Gelenkbereich sichtbar gemacht. Heute können die Distanzen sowohl elektronisch indirekt in Messartikulatoren [493,501], als auch direkt am Patienten computergestützt ermittelt werden [19,320,521].

Die Kondylenpositionsanalyse wurde und wird in der Wissenschaft auch herangezogen, um u. a. die Unterschiede verschiedener Registriertechniken des Unterkiefers hinsichtlich Reproduzierbarkeit der kondylären Positionierung zu beschreiben. Historisch betraf dies im Besonderen die dorsalen Grenzbereiche (retrale bzw. retrudierte Kontaktposition [nicht mehr gebräuchliche Bezeichnungen]) und gilt heute immer noch für die zentrische Kondylenposition [516]. Darüber hinaus wurde versucht, in größeren kondylären Abweichungen von der Norm die Ursache funktionsbedingter Beschwerden zu erkennen [221,303,424,442]. Vor diesem Hintergrund war es das Ziel einer Kondylenpositionsanalyse, "physiologische" (= "richtige") oder "pathologische" Unterkieferlagen zu erkennen oder wenigstens einzugrenzen.

In der klinischen Praxis kommt das Verfahren auch heute noch zur Anwendung, um die Reproduzierbarkeit von Registraten (speziell von Registraten der zentrischen Kondylenposition) nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ zu überprüfen und mit der durch die Okklusion der Zähne

determinierten Unterkieferlage zu vergleichen (s. Abschnitt 6.2). Zudem dient es dazu, die räumliche Veränderung der von den Patienten eingenommenen Unterkieferlage im kondylären Bereich im Behandlungsverlauf zu ermitteln. Die Kondylenpositionsanalyse ergänzt, wie andere Verfahren auch, die klinische Funktionsanalyse und erlaubt eine umfassendere Beurteilung des Funktionszustandes und u. U. eine Anpassung der Therapie.

5.2 Ziele

Eine Beschreibung der Positionen der Kondylen ist im Zusammenhang mit der Bewertung der Lage des Unterkiefers zum Schädel von Bedeutung: Bei vollbezahnten Menschen bzw. Menschen mit ausreichend antagonistischen Stützzonen legt die maximale Interkuspidation über die statischen Okklusionskontakte die Stellung der Kondylen in den Gelenkgruben beim Kieferschluss fest.

Statement 7: Praktische Konsequenzen aus kondylären Positions-Differenzen (neu in 2022)	
Das Wissen über die Kondylenposition in maximaler Interkuspidation und die Größe und Richtung der Abweichungen von den Grenzstellungen der Kondylen im Gelenkraum spielen zum einen bei der Beurteilung eine Rolle, ob und in welcher Größenordnung Divergenzen von einem Normbereich vorliegen. Zum anderen ist dieses Wissen notwendig, um therapeutische Unterkieferpositionen zu beurteilen, zu beschreiben und festzulegen. Zudem ermöglicht die Kondylenpositionsanalyse die Erfassung von Änderungen der Unterkieferlage im Laufe einer Therapie z.B. mit Okklusionsschienen. [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Die Stellungen der Kondylen in Bezug zu den Disci und zu den Fossae articulares können mit rein klinischen Methoden nicht präzise ermittelt werden. Die Ursache liegt darin, dass die Kondylen in Gewebe eingebettet, bedeckt und daher der direkten Einsicht nicht zugänglich sind. Die kondylären Positionen in Relation zu den benachbarten Geweben können daher nur indirekt einerseits über bildgebende Verfahren ermittelt werden (seitliches Fernröntgenbild, transkraniale Röntgen-Schädelaufnahme, Computertomogramm, digitales Volumentomogramm, Hochfrequenz-Arthrosonografie, Magnetresonanztomografie). Andererseits wird versucht, die Lageänderung der Kondylen direkt am Patienten mit Messgeräten vergleichend zu erfassen (s.o.), 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 Messsystemen unabhängig vom Patienten untersucht werden.

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

5.2.1 Methoden zur Beschreibung kondylärer Positionen und deren Beurteilung

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

- Bei bezahnten Menschen sind übliche Vergleichspositionen die Kondylenposition in maximaler Interkuspitation (durch die Zahnhartsubstanz determiniert) sowie die zentrische Kondylenposition (ZKP, als geweblicher Grenzbereich definiert [506]).
- Eine natürlich gegebene statische Okklusion geht verloren, sobald wesentliche antagonistische Stützzonen fehlen. Für den *zahnlosen* Menschen bedeutet das, dass eine ursprünglich vorhandene maximale Interkuspitation nicht wieder aufgefunden werden kann. Auch bei ganz unbezahnten Patienten lässt sich jedoch eine – betrachtet man den gesamten Bewegungsbereich der Mandibula – hintere und obere Grenzposition der Kiefergelenke akzeptabel wiederfinden. Diese Stellung der Kiefergelenkköpfchen wird als zentrische Kondylenposition definiert (s. Abschnitt 6.2.1).

Die zentrische Kondylenposition wurde im Laufe der Jahre immer wieder unterschiedlich interpretiert [3–9,231]. Die Folge ist, dass bis heute die Definition grundlegender, klinisch und praktisch bedeutsamer Referenzpositionen allein auf theoretische Überlegungen und Beschreibungen beschränkt ist. Herauskrystallisiert hat sich jedoch inzwischen international, keine manuell nach dorsal forcierte Unterkieferposition einzustellen, sondern eher eine kranioventrale Position der Kondylen als restaurative Ausgangslage bei nicht vorhandener maximaler Interkuspitation anzustreben [9,15,59,447,485].

5.2.2 Messung kondylärer Positionen unter Auswertung bildgebender Verfahren

Statement 8: Positionsdiagnostik mit Röntgentechniken – (neu in 2022)	
In der zahnärztlichen Funktionstherapie und der zahnärztlich-restaurativen Therapie sind Röntgentechniken für die kondyläre Positionsdiagnostik im Rahmen der Kieferrelationsbestimmung ungeeignet. [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

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 (s.a. [352] und Neuauflage der Leitlinie "Digitale dentale Volumentomografie" <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/083-005.html>). Zudem muss die Unterkieferposition für eine Aufnahme zeitlich länger ruhig gehalten werden. Des Weiteren fehlen bislang standardisierte Vorgaben zu Referenzpunkten. Schon Studien an asymptomatischen Gruppen haben gezeigt, dass es selbst in maximaler Interkuspitation keine "genormte" Stellung der Kondylen in Bezug zu knöchernen

Parametern gibt [248,373,374]. Distanzen zwischen zentrischer Kondylenposition und maximaler Interkuspitation können letztlich nicht mit der nötigen Genauigkeit erkannt werden [174,282]. Es besteht eine Abhängigkeit der tomographisch erfassten Kondylenposition von der Schichttiefe [485].

Diese Einschränkungen führen in vielen Studien einerseits zu hohen Standardabweichungen [23,44,141,149,174,199,208,211,230,298,299,318,450,486,487,544]. Andererseits sehen die Leitlinienautoren erhebliche Probleme in der Übertragung einer röntgenologisch akzeptablen Position in die Praxis.

Problematisch an allen röntgenologischen Verfahren ist die fehlende Darstellung der Knorpelbedeckung der Kondylen und der Fossae articulares. So ist die in älteren Studien idealisierte konzentrische Position des Kondylus mit gleichmäßiger röntgenologischer Breite des Gelenkspalts das Ergebnis von Abstandsmessungen zwischen knöchernen Oberflächen, wobei die Knorpelbedeckung dem Gelenkspalt zugeschlagen wurde. Auf der Basis von MRT-Untersuchungen (mit Berücksichtigung der Knorpelbedeckungen) konnten in maximaler Interkuspitation im Mittel konzentrische Positionen bei gelenkgesunden Probanden gemessen werden. Bei Diskusverlagerungen mit Reposition wurde jedoch eine Verkleinerung der posterioren Gelenkspalten festgestellt und bei Diskusverlagerungen ohne Reposition zusätzlich eine Reduktion der anterioren Gelenkspaltbreite [378]. Für die diagnostische Zielrichtung von Röntgenuntersuchungen zum indirekten Nachweis einer Diskusverlagerung anhand einer dorsal exzentrischen Position des Kondylus gibt es aufgrund der fehleranfälligen Gelenkspaltvermessung und der zuverlässigen direkten MRT-Diagnostik keine Indikation [44,208,253,300,318].

Empfehlung 9: Bedeutung bildgebender Verfahren bei kondylären Positions-Differenzen
(modifiziert in 2022)

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

[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 1 Enthaltung]

Starker Konsens

Expertenkonsens

5.2.3 Indirekte Messung kondylärer Positionen mit Hilfe von Artikulatoren oder stationärer Kondylenpositions-Messinstrumente

Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Messungen in handelsüblichen stationären Messsystemen liegen vor [37,521]. Zu der wichtigen Frage der Übereinstimmung zwischen Messungen am Patienten und Messungen im Artikulator bzw. stationären Kondylenpositions-Messinstrumenten gibt es nach unserem Wissen jedoch weiterhin nur eine Studie [153].

Indirekte Messung der Reproduzierbarkeit der maximalen Interkuspitation (MI) im Kondylarbereich

Die maximale Interkuspitation wurde bisher - ganz im Gegensatz zu ihrer praktischen Bedeutung - nicht häufig in ihrer Wiederholbarkeit untersucht. Vorhandene Studien zeigen eine Reproduzierbarkeit in der Größenordnung von ca. 0,1 bis 0,2 mm [87,219,515,553].

Neben elektronischen Messungen indirekt in Kondylenpositions-Messinstrumenten oder mit Kopf- und Unterkieferbögen direkt am Patienten können neuerdings auch digitale, vestibuläre Intraoralscans zur Klärung dieser Frage eingesetzt werden. Grundlage dieser Verfahren sind virtuelle Modelle. Sie sind von der Methodik her recht genau (ca. 50 µm [219,440,553]), sodass digitale Scans die Okklusion darzustellen vermögen [334]. Intraorale Scans erscheinen derzeit jedoch noch nicht über den gesamten Kieferbogen hinweg mit einer guten Genauigkeit durchführbar [528–531]. 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 [168,207,375,415,515,521]).

Indirekte Messung der Abweichungen zwischen zentrischer Kondylenposition (ZKP) und maximaler Interkuspitation (MI)

Die Kondylenpositionsanalyse im Artikulator stellt ein Verfahren dar, um bei mehrfachen Messungen und folgender Mittelwertbildung eine Vorstellung der in einer Stichprobe der Bevölkerung vorhandenen Abweichungen zwischen der zentrischen Kondylenposition und der statischen Okklusion zu erhalten. Die Distanzen liegen je nach Studienergebnissen im Kondylarbereich zwischen 0,2 und 0,8 mm, wobei ca. 10% der Bevölkerung keine messbare und statistisch signifikante Differenz zwischen diesen Grenzpositionen aufweisen [11,12,17,23,42,56,80,81,83,89,90,93,125,126,132,153,163,179–181,183,272,283,287,291,361,382,388,389,395,402,428,446,468,479,489,505,511,517,537,546,547]. Bei der Interpretation wäre auch zu berücksichtigen, dass sich durch die Registrat-bedingten Stellungen der Zahnkränze die Messwerte durch Projektion im Gelenkbereich erhöhen und gleichzeitig im Artikulator jedoch keine Begrenzungen der kondylären Bewegungen erfolgen [115]. Die Präzision der Registratrate hat daher eine große Bedeutung.

5.2.4 Direkte Messung kondylärer Positionen am Patienten

Es ist davon auszugehen, dass elektronische Messungen mit Kopf- und Unterkieferbögen direkt am Patienten zu einer etwas höheren Genauigkeit führen können als die indirekten und durch viele Zwischenschritte gekennzeichneten Messungen im Artikulator. So wurde für die Reproduzierbarkeit der maximalen Interkuspitation bei kondylennaher direkter Messung teilweise nur maximale Schwankungen von 20 bis 30 µm in den 3 Raumrichtungen ermittelt [47,48]. Sie bieten auch zusätzliche Interpretationsmöglichkeiten, weil unmittelbare Effekte, die nur unter Okklusionskontakt entstehen, registrierbar sind.

Die Position des Kopfbogens kann durch Lageveränderungen des Messinstrumentes, Kopfbewegungen oder den Muskelzug jedoch unbeabsichtigt verändert werden. Somit kann auch bei diesem Verfahren die erwartete Reproduzierbarkeit verringert werden [39,42,46,288,447,448,479,505–507,521]. Auch muss berücksichtigt werden, dass selbst nach individuell bestimmten zentrischen Scharnierachsen Fehler der Interpretation kondylärer Stellungen und Bewegungen erfolgen können, weil die zentrischen Scharnierachsen nicht alle Bewegungen der Kondylen darstellen können [315–317].

Zur zahnärztlichen Beurteilung okklusaler Relationen ist nach wie vor bis heute der Weg über den Artikulator sinnvoll oder erforderlich. 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 Kondylenpositions-Messinstrument auch der Fall ist.

5.3 Nutzen

Statement 9: Möglichkeiten der Kondylenpositionsanalyse (geprüft + unverändert übernommen)	
<p>Die Kondylenpositionsanalyse bietet bei Personen, die eine in vier Quadranten abgestützte Bezahnung aufweisen, folgende Möglichkeiten:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Quantitative und qualitative Darstellung der Abweichungen zwischen individuellen kondylären Referenzpositionen relativ zueinander, i. d. R. der zentrischen Kondylenposition und der Kondylenposition in maximaler Interkuspidation oder habitueller Okklusion, 2. Beurteilung der Reproduzierbarkeit der maximalen Interkuspidation bzw. habituellen Okklusion bei mehrfachen Messungen, 3. Beurteilung der Reproduzierbarkeit einer ermittelten zentrischen Kondylenposition bei mehrfachen Messungen, 4. Erkennung von Verlagerungsrichtungen und Abständen der Referenzpositionen relativ zueinander, 5. Beurteilung der Reproduzierbarkeit bei der Ermittlung kondylärer Positionen unter Einsatz verschiedener Registrierverfahren/-materialien, 6. Kontrolle der kondylären Positionen im Therapieverlauf. <p>[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens	

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.

Statement 10: Aussagekraft der Kondylenpositionsanalyse (modifiziert in 2022)	
<p>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 Qualität und Reproduzierbarkeit, mit der die kondylären <i>Stellungen</i> jeweils festgelegt werden können.</p> <p>[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens (Zusammenfassung: [485,511])	

5.4 Zusammenfassung

Die okkludierenden Zahnreihen bestimmen mechanisch die Position der Kondylen. Die **maximale Interkuspitation** lässt sich daher sowohl am Patienten als auch an Modellen im Artikulator genauer einstellen (ca. 0,1 mm) als die zentrische Kondylenposition.

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 (s. Abschnitt 6.2). Da alle Verfahren diese Fehlergrößen beinhalten, sind bei der Kondylenpositionsanalyse metrisch kleinere Resultate als ca. 0,5 mm auch bei sehr präzisiertem Vorgehen in ihrer Aussagekraft kaum zu interpretieren.

Statement 11: Rückschlüsse aus der Kondylenpositionsanalyse (modifiziert in 2022)	
<p>Die umfassende Beurteilung einer Kondylenpositionsanalyse setzt eine klinische Funktionsanalyse voraus. Die Kondylenpositionsanalyse <i>allein</i> kann keine Hinweise zur Interpretation der klinischen Situation geben. <i>Allein</i> aus einer Differenzmessung der Kondylenpositionen lässt sich eine invasive restaurative Zahnbehandlung oder kieferorthopädische bzw. kieferchirurgische Therapie keinesfalls begründen.</p> <p>Generell ist im Einzelnen ohne geeignete bildgebende Verifizierung nicht eindeutig bestimmbar, auf welche konkreten anatomischen, kondylennahen Strukturen sich der in der Kondylenpositionsanalyse verwendete rechte und linke posteriore Referenzpunkt bezieht. Ohne genaue Kenntnis der Referenzpunkte sind Aussagen zu vermeintlichen "Verlagerungen der Kondylen" oder "Kompressions- bzw. Distraktionsphänomenen" im Gelenkbereich – hier beispielhaft aufgeführt – spekulativ und allenfalls als Verdacht zu formulieren.</p> <p>[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 1 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens	

6 Teil 3: Kieferrelationsbestimmung

Die Problematik der Kieferrelationsbestimmung wurde bereits in wissenschaftlichen Beiträgen diskutiert [500,508,517]. Im Zusammenhang mit dieser Leitlinie werden die Inhalte zusammengeführt und aktualisiert.

6.1 Vertikale Kieferrelationsbestimmung

6.1.1 Definitionen

Um den Begriff *vertikale Kieferrelation* einzugrenzen kommen mehrere Definitionen zum Tragen [9,15]:

Vertikalrelation = Vertikaldimension = Untergesichtshöhe bei Einnehmen der statischen Okklusion oder in Ruhelage (im Engl.: vertical dimension).

Statische Okklusion = synonym mit *maximaler Interkuspitation* = Zahnkontakte ohne Bewegung des Unterkiefers in Interkuspitation (im Engl.: intercuspal position, maximal intercuspal position)

Ist der Kieferschluss in maximaler Interkuspitation durch größere Zahnlücken in der vertikalen Dimension nicht mehr sicher abgestützt (s. Abschnitt 6.2.4) – z. B. bei manchen teilbezahnten und bei allen unbezahnten Patienten –, dann fehlen die Voraussetzungen zur Festlegung der Vertikalrelation über die Zahnreihen. Die Untergesichtshöhe muss in diesen Fällen über die *Ruhelage* definiert werden. Die Ruhelage (Ruheschwebelage = alter Begriff) hat bei vollbezahnten Menschen einen messbaren - aber recht variablen - dreidimensionalen Abstand zur maximalen Interkuspitation.

Ruhelage = unbewusste Abstandshaltung des Unterkiefers zum Oberkiefer bei aufrechter Kopf- und Körperhaltung" (im Engl.: rest vertical dimension, physiologic rest position).

Wird die Ruhelage eingenommen und ist der Patient vollbezahnt bzw. wird die Bezahnung über Prothesen wiederhergestellt, dann sind die antagonistischen Zähne nicht miteinander in Kontakt und es kann ein Spalt zwischen den Zahnreihen von Ober- und Unterkiefer festgestellt werden:

Interokkluslabstand = Abstand der Seitenzähne von Ober- und Unterkiefer bei Einnehmen der Ruhelage bzw. der Bestimmung des engsten Sprechabstandes (im Engl.: interocclusal distance, interocclusal rest distance, freeway space).

Engster Sprechabstand = engster Abstand zwischen den Okklusalfächen bzw. Inzisalkanten der Ober- und Unterkieferzähne während des schnellen Sprechens (im Engl.: closest speaking space).

6.1.2 Ziele

Die Kieferrelationsbestimmung hat bei der restaurativen Behandlung von Patienten zum Ziel, eine stabile und tolerierbare (funktionell und ästhetisch) Position des Unterkiefers in Relation zum Oberkiefer in allen drei Raumrichtungen festzulegen.

6.1.3 Entwicklung, Einflüsse und Verfahren

Werden lediglich einzelne Zähne in einem gesunden Kausystem zahnärztlich versorgt, so wird man sich um die bestehende vertikale Kieferrelation i. d. R. keine Gedanken machen müssen: Sie hat eine durch die natürlichen Zähne und ihre interokklusale Kontakte vorgegebene individuelle Größe (s. Abschnitt 6.2.4).

Bei vollständiger Bezahnung und erheblichem Zahnverschleiß eines ganzen oder sogar beider Kiefer liegt die vertikale Kieferrelation per definitionem weiterhin fest. In vielen Fällen ist das Kauflächenrelief jedoch weitgehend verloren gegangen, Dentin liegt okklusal/ inzisal frei und es besteht eine veränderte maximale Interkuspitation. In diesen Fällen kann die vertikale Kieferrelation im Laufe der Zeit durch Abnutzung der Zahnhartsubstanzen langsam "abgesunken" sein. Lassen sich solche Zähne nicht mehr auf einfachem Wege wiederaufbauen, weil z. B. die zur Verfügung stehende Höhe der präparierten Zahnschubstanz für eine adäquate Überkronung nicht ausreichen würde, bleibt oft nur der Ausweg einer prothetischen Versorgung unter Anhebung der vertikalen Kieferrelation. Erforderlich ist in allen diesen Fällen jedoch nicht nur eine "Anhebung" der vertikalen Relation, sondern es geht durch die zahnärztliche Intervention gleichzeitig auch die horizontale Kieferrelation (= derzeitige maximale Interkuspitation) verloren. Auch sie muss neu festgelegt werden (s. Abschnitt 6.2.4). Daher spricht man bei der Einstellung der Vertikalrelation auch von einer "dreidimensionalen Zuordnung" des Unter- zum Oberkiefer, was bei zahnlosen Patienten besonders deutlich wird. Sie ist eine der "wichtigsten Maßnahmen der praktischen zahnärztlich-rekonstruktiven Tätigkeit" [484].

Mit dem Beginn des letzten Jahrhunderts standen die Verfahren zur Eingliederung festsitzender Prothetik am Anfang ihrer Entwicklung. Daher bezog sich die Herstellung von Zahnersatz überwiegend auf die Konstruktion von *totalen* Prothesen. Das erklärt, warum in dieser Zeit ausgiebig über die Probleme der Wiederherstellung der Vertikalrelation nachgedacht wurde. Im Laufe der Zeit wurden entsprechend viele Vorschläge unterbreitet, um die Vertikalrelation mit Totalprothesen zu rekonstruieren:

Ruhelage

Muss die Vertikalrelation verändert oder neu eingestellt werden, so spielt zunächst die *Ruhelage* eine besonders markante Rolle, weil sie bei vollbezahnten Menschen über den Interokklusalabstand in einer bestimmten Beziehung zur maximalen Interkuspitation steht und auch bei zahnlosen Patienten neu eingestellt werden muss. Das Ziel der Überlegungen war und ist dabei, die bei Probanden gemessenen Abstände auf Patienten zu übertragen. Entsprechend der Bedeutung gibt es zahllose Studien über den Interokklusalabstand an bezahnten Probanden. Danach beträgt die Größe des

"freeway space" im Mittel 1-3 mm (0,5-10 mm) [29,33,130,189,205,275,324,336,347,406,472,473,522].

Die *Einstellung der Ruhelage* setzt i. d. R. den "zwanglosen Lippenschluss" voraus [312]. Sobald die Ruhelage eingenommen ist, kann man daher nicht mehr "zwischen die Zähne" schauen, der interokklusale Spalt ist nicht sichtbar und kann ohne aufwändigere Instrumentation nicht gemessen werden. Daher versucht man u. a., die interokklusale Distanz visuell nach extraoral zu übertragen, um sie so einer Beurteilung zugänglich zu machen. Dazu ist es üblich, z. B. auf der Nasenspitze und dem Kinn Markierungen anzubringen und deren vertikalen Abstand mit Zirkel oder Spatel zu messen. Die extraoral gemessene Distanz muss jedoch nicht dem intraoralen Interokklusalabstand entsprechen, weil die extraoralen Punkte auf Weichgewebe platziert sind und somit von den unter der Haut liegenden Muskeln beim Kieferschluss i. d. R. verlagert werden [74,101,151,314,477]. Dies trifft besonders auf die Markierung an der Kinnspitze zu, die beim Kieferschluss oft sehr stark von den Bewegungen des M. orbicularis oris beeinflusst wird. Um dieses Problem zu erkennen, ist es wichtig, während des Kieferschlusses den Bereich des M. orbicularis oris bewusst im Blick zu behalten und die Verlagerungen der Markierungen durch die periorale Muskulatur zu bemerken. Eine Erhöhung der vertikalen Kieferrelation hat nicht in jedem Fall Auswirkungen auf das ästhetische Erscheinungsbild [151,344].

Bei zahnlosen Patienten macht es einen Unterschied, ob Prothesen getragen werden oder nicht: Mit eingefügten Prothesen wird die Zunge durch den Basiskunststoff und die Zahnreihen eingeeengt, dadurch schmaler und somit in vertikaler Richtung ausgedehnt. Der Unterkiefer wird zwangsläufig nach kaudal verdrängt und erhält so mehr Abstand zum Oberkiefer (um $1 \pm 3,5$ mm) [131]. Daher ist es sinnvoll, nach Möglichkeit immer Registrierschablonen oder Prothesen bei der Bestimmung der Ruhelage einzusetzen. Das kann - eingeschränkt - auch durch eine verdickte Oberkieferplatte erreicht werden.

Das *Wiederauffinden der Ruhelage* ist nach den Studien von Ott [347] sowie eigener Erfahrungen bei den folgenden drei Methoden akzeptabel reproduzierbar:

- Engster Sprechabstand
(interokklusaler Spalt im Mittel 2,6 mm (0,2 - 6,8))
- Lippenschluss nach Kieferöffnung
(interokklusaler Spalt im Mittel 2,1 mm (0,6 - 3,9)),
- Lockerlassen des Unterkiefers aus der maximalen Interkuspidation
(interokklusaler Spalt im Mittel 1,3 mm (0,4 - 3,5)).

Es ist i. d. R. möglich, die vertikale Kieferrelation dauerhaft und ohne gesundheitliche Langzeitschäden anzuheben. Dies trifft nicht nur für die Versorgung zahnloser Patienten mit Totalprothesen [172,173,460], sondern auch für die festsitzende restaurativ-prothetische Behandlung zu (s. Abschnitt 6.1.4). Es wäre bei manchen Patienten auch aus Platzgründen anders gar nicht möglich, Zahnersatz einzufügen.

Statement 12: Aussagekraft der Bestimmung der Ruhelage (neu in 2022)	
Als Grundproblem bleibt summa summarum, dass die <i>Ruhelage sehr großen, biologisch bedingten Einflüssen unterliegt</i> , sie daher nur als <i>ein</i> Parameter unter anderen zur Beurteilung herangezogen werden darf und immer wieder kritisch hinterfragt werden muss. [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Literatur: ([25–27,29,70–72,120,130,131,172,173,251,274,309,341,362,365,367,398,405,426,460,461,472,488,539,540])	

Engster Sprechabstand

Mitte des vorigen Jahrhunderts beobachteten Pound [366] sowie Silverman [430,431], dass bei der Aussprache des Konsonanten "s" ein "*engster Sprechabstand*" zwischen den antagonistischen Zähnen des Unter- und Oberkiefers entsteht (= interokklusaler Spalt) und diese Beobachtung zur Einstellung der vertikalen Relation herangezogen werden kann. Ihre Studien wurden vielfach bestätigt. Der engste Sprechabstand liegt zwischen 1-3 mm, variiert aber (wie auch die Ruhelage) zwischen 0,5 und 10 mm, wobei geringe Abstände überwiegen [36,61–63,79,135,185,189,325,347,396–398,400,406,443,455].

Der engste Sprechabstand hat bei der Rekonstruktion der vertikalen Relation eine besondere funktionelle Bedeutung: Erhöht man über diesen Betrag hinaus, dann werden sich die Zähne beim Sprechen immer wieder berühren. Dies können oft sogar Außenstehende hören: Der Patient "klappert beim Sprechen mit den Zähnen/Prothesen", dabei kann ein Gefühl von "Unwohlsein" entstehen. Bei Patienten mit abnehmbarem Ersatz kann dies auch dazu führen, dass das Tegument zu stark belastet wird: Es könnten vermehrt Druckstellen bzw. Prothesenstomatitis entstehen.

Empfehlung 10: Voraussetzung bei Anhebung der vertikalen Relation (neu in 2022)	
Ist man aus Gründen von fehlendem interokklusalem Platz bei einer geplanten Restauration gezwungen, die vertikale Relation über den engsten Sprechabstand hinaus anzuheben, sollte eine funktionelle Vorbehandlung mit reversiblen Verfahren (z. B. mit Okklusionsschienen) durchgeführt werden, in der ausgetestet wird, ob sich der Patient an die veränderte Unterkieferlage adaptiert. [12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 1 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Details zur Funktionstherapie sind in der wissenschaftlichen Mitteilung zur zahnärztlichen Funktionstherapie enthalten [18].

Weitere Verfahren

- **Preferred vertical dimension of occlusion (PVDO):** Durch mehrfaches Aufbeißen auf Registrierschablonen in unterschiedlicher vertikaler Kieferrelation sollte der Patient selbst festlegen, welche Höhe für ihn angenehm sei [301]. So hoffte man, eine festgelegte Kieferrelation auf eine physiologische Art wieder aufzufinden (ähnlich wie die Festlegung der neuromuskulären Position bei der horizontalen Relationsbestimmung, s. Abschnitt 6.2.4). Die Nachuntersuchungen des Vorschlags zeigten jedoch, dass sich diese Methode aus multiplen Gründen nicht eignet [32,57,58,129,404,523].
- **Bestimmung der maximalen Beißkraft:** Früher nahm man an, dass die "richtige" vertikale Kieferrelation an der Stelle zu finden sei, an der die individuelle "maximale Beißkraft" aufgebracht werden kann [52]. Auch dieses ebenfalls funktionell erscheinende Verfahren stellt jedoch einen erheblichen Aufwand dar und weist zu große Fehlerquellen auf [118,478]. Es führt nicht zu besseren Ergebnissen.
- **Elektromyographie:** Nahe liegt auch die Annahme, dass die Ruhelage an der Stelle zu vermuten ist, an der sich die "größte Entspannung" der Kaumuskulatur messen lässt (= geringste elektromyographische Aktivität) [28,217,330]. Nachuntersuchungen zeigten aber, dass die geringste Aktivität der Kaumuskulatur eine Lage des Unterkiefers zur Folge hat, die deutlich weiter kaudal der individuellen vertikalen Kieferrelation liegt [130,217,218,545].
- **Schluckmethode:** Eine Zeit lang ging man davon aus, dass beim Schlucken ein interokklusaler Kontakt zwischen den Zähnen auftritt und dieses Phänomen zur Einstellung der vertikalen Kieferrelation genutzt werden könnte [187,256,336,425,444]. Jedoch sind zum einen die Streubereiche des Verfahrens zu hoch, zum anderen berühren sich die Zähne gesunder Probanden beim Schlucken nicht immer [210,256,337,399,410,425,427].
- **Fernröntgenseitenbild (FRS):** Im ersten Moment erscheint die Festlegung der vertikalen Kieferrelation anhand von Messungen und Berechnungen nach der Auswertung eines FRS des Patienten als bedenkenswerte Möglichkeit, von den subjektiv beeinflussten, unterschiedlich bewerteten und schwer zu lernenden Parametern wegzukommen (Gesichtshöhenwinkel ANS/Spa-Xi-Pm) [32,257,346,434,435,472,549,550]. Studien zeigten jedoch, dass sich auch diese Methode leider nicht ohne Weiteres eignet [99,105,277,365]. Die Gründe sind multipel: Fernröntgenseitenbilder sind Summationsaufnahmen, bei denen schon das Aufsuchen kephalometrischer Punkte einer individuellen Variation unterzogen ist. Richtwerte für die Berechnung der vertikalen Kieferrelation können sich darüber hinaus nur aus den röntgenologischen Berechnungen einer großen Stichprobe gesunder, vollbezahnter Probanden unter Mittelwertbildung ergeben. Korrelationen genügen nicht. Die Individualität der zahnlosen Patienten ist aber zu groß, als dass sie mit Mittelwerten oder Korrelationen erfasst werden könnte. Auch die Röntgenvorschriften setzten inzwischen enge Grenzen. Es existiert außerdem keine Evidenz, dass die Einstellung der vertikalen Kieferrelation auf diese Art versorgter Patienten zu einer adäquaten – geschweige denn besseren – Versorgung führt.

6.1.4 Besonderheiten bei bezahnten Patienten

Die Frage, ob die vertikale Relation bei bezahnten Patienten angehoben werden kann, wurde in der Vergangenheit sehr zurückhaltend beantwortet. Wenn die Notwendigkeit bestand, so war die Maßgabe, dass die vertikale Dimension nur so wenig wie irgend möglich angehoben werden sollte. Es bestand die Furcht, dass eine Erhöhung von den Patienten nicht toleriert werden könnte oder zu Schmerzen führen würde [64,422,467,480].

Die Studien, die zu diesem Thema vorliegen, zeigen jedoch bis auf eine Einschränkung [76], dass die vertikale Kieferrelation meist recht problemlos bis ca. 5 mm angehoben werden kann (s. a. [433,524]) und lediglich für eine kurze Übergangszeit Probleme wie Lispeln, Aufbiss empfindliche Zähne und eine empfindliche Muskulatur auftreten können. Allerdings fehlen Untersuchungen zum Thema einer oberen Grenze. Zu berücksichtigen ist, dass eine bestehende Frontzahnbeziehung bei jeder Anhebung der vertikalen Kieferrelation bei bezahnten Patienten aufgelöst wird. Bei einer Restauration mit Anhebung der Vertikalrelation muss somit ein vorher vorhandener Frontzahnkontakt wiederhergestellt werden, um eine interferenzfreie dynamische Okklusion zu realisieren. Es kann auch Probleme mit einem zwanglosen Lippenschluss geben [2,72,85,86,146,152,326,345]. Da sich auch nach klinischer Beobachtung der Leitlinienkoordinatoren die Unterkieferhaltung während einer Therapie mit Okklusionsschienen verändern kann, ist es sinnvoll, eine derartige Funktionstherapie vor dem definitiven Einfügen einer Restauration durchzuführen.

Empfehlung 11: Art der funktionellen Vorbehandlung bei Erhöhung der vertikalen Relation (neu in 2022)

Zur Absicherung, dass der Patient die Veränderung tolerieren wird, **sollte** die angestrebte restaurative Anhebung der vertikalen Kieferrelation vorher durch eine Probebehandlung mit Okklusionsschienen oder Langzeitprovisorien (bei prothetischen Erfordernissen) ausgetestet werden. Dabei bieten festsitzende Verfahren der Anhebung den Studien entsprechend eine kürzere Adaptationszeit und ein sichereres Ergebnis. Wird mit Langzeitprovisorien auf Basis herkömmlicher Präparationen gearbeitet, ist eine Weiterbehandlung unumgänglich. Alternativ zu Langzeitprovisorien kann eine zementierte Schiene oder eine Simulationsschiene daher die spätere Behandlung offener gestalten.

[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Starker Konsens

Expertenkonsens

6.1.5 Zusammenfassung

Statement 13: Bedeutung der einzelnen Methoden zur Bestimmung der vertikalen Relation (neu in 2022)	
<p>Folgende Konsequenzen können aus den obigen Überlegungen gezogen werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alle Verfahren zur Festlegung der vertikalen Kieferrelation vor restaurativen Behandlungen variieren in größerem Umfang. • Die Methoden führen teilweise zu nicht übereinstimmenden Ergebnissen (z. B. die Bestimmung der Ruhelage und der geringste Sprechabstand). Es existiert kein "Goldstandard". • Daher sind mehrere Methoden – und dies wiederholt – zur Kontrolle der vertikalen Kieferrelation heranzuziehen. <p>[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens	

In Studien und nachklinischer Erfahrung der Leitlinienautoren haben sich die folgenden Methoden zur Beurteilung und Einstellung der vertikalen Kieferrelation bewährt (s.a. [142]). Sie sind in der Reihenfolge ihrer Bedeutung aufgezählt:

1. Beurteilung des geringsten Sprechabstandes ("s"-Aussprache).
2. Beurteilung der Ruhelage (zwangloser Lippenschluss nach Kieferöffnung, Lockerlassen des Unterkiefers aus maximaler Interkuspitation).
3. Beurteilung nach ästhetischen Kriterien (eingeschränkt, nur als "Unterstützung").
4. Beurteilung der durch die Vorbehandler eingestellten Unterkieferlage bei Interimsprothesen bzw. der alten Prothese.

Zu unterstreichen ist, dass für die vertikale Kieferrelation ein Toleranzspielraum besteht, der auch durch Vorbehandlungen (z. B. Erhöhung durch Schienen oder Verminderung durch abgesunkene Prothesen) verändert sein kann. Eine selbstkritische Prüfung der vorher genannten Kriterien ist daher insbesondere vor jeder geplanten restaurativen Veränderung der vertikalen Kieferrelation zu empfehlen.

Empfehlung 12: Anhebung der vertikalen Relation bei festsitzender Restauration (neu in 2022)	
<p>Eine Erhöhung der vertikalen Relation zur Anfertigung von <i>festsitzendem Zahnersatz</i> ist möglich. Nicht zuletzt wegen der Invasivität und des sich ergebenden Aufwands sollte die Indikation streng gestellt werden, auch aus finanzieller Sicht. Ferner ist zu beachten, dass im Frontzahnbereich jede Erhöhung der Vertikaldimension zur Auflösung der bestehenden <i>dynamischen</i></p>	Starker Konsens

<p><i>Okklusion</i> führt und durch die Restauration auch die <i>Form der Zähne</i> verändert wird (längere Front- und Seitenzähne).</p> <p>Daher sollte eine Modellsimulation und eine Behandlungsablaufplanung im Vorfeld der klinischen Umsetzung erfolgen.</p> <p>Bei feststehendem Zahnersatz sollte eine Austestung der geplanten Anhebung durch eine Okklusionsschiene erfolgen. Bei größeren Erhöhungen der vertikalen Dimension kann nach der erfolgreichen Schienenbehandlung eine Versorgung mit nach indirekter Vorbereitung chairside hergestellten Provisorien oder laborgefertigten Langzeitprovisorien als weitere Testphase der definitiven Versorgung vorangestellt werden.</p> <p>[9 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	
Expertenkonsens	

6.2 Horizontale Kieferrelationsbestimmung

6.2.1 Definition

Als horizontale Kieferrelationsbestimmung bezeichnet man Verfahren, mit denen eine Zahnärztin / ein Zahnarzt die Lage des Unterkiefers in horizontaler Richtung dem Oberkiefer zuordnen und damit die Okklusion prüfen oder festlegen kann.

6.2.2 Ziele

Die Lagezuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer in sagittal-transversaler Richtung löst auch heute immer noch gegensätzliche Diskussionen aus. Dabei sind die grundsätzlichen Ziele der horizontalen Relationsbestimmung allgemein anerkannt:

Während eines vom Patienten durchgeführten Kieferschlusses bei aufrechter Kopf- und Körperhaltung sind beim Zahnkontakt in maximaler Interkuspidation folgende Möglichkeiten gegeben:

1. bei *vollbezahnten bzw. mit feststehendem Zahnersatz versorgten* Patienten berühren sich die natürlichen antagonistischen Zahnreihen *gleichzeitig und gleichmäßig auf der rechten und linken Kieferseite* unter Vielpunktkontakt, *ohne* dass der Unterkiefer in horizontaler Richtung abweicht. Das gilt für jeden einzelnen Zahn, aber auch für die gesamten Seiten- und die Frontzahnreihen.
2. bei *teilbezahnten* Patienten – sofern sie abnehmbare Prothesen tragen oder mit Implantaten versorgt sind – berühren sich die *natürlichen Zähne zusammen mit dem Zahnersatz rechts und links gleichzeitig und gleichmäßig*.

3. bei *zahnlosen* und mit totalem Zahnersatz versorgten Patienten berühren sich obere und untere Prothesen beim Kieferschluss *gleichzeitig rechts und links* und *bleiben dabei so ruhig wie möglich auf dem Tegument liegen*.

Praktisch hat es sich bei der Eingliederung von Restaurationen für die ersten beiden Punkte bewährt, dass die Front- gegenüber den Seitenzähnen einen geringfügig schwächeren interokklusalen Kontakt aufweisen (es liegen hierfür keinerlei bestätigende Studien vor).

6.2.3 Vorschläge und Folgen

Vorschläge zur Bestimmung der horizontalen Kieferrelation

Die in der Literatur im Laufe der Zeit empfohlenen, vielfältigen Methoden zur Festlegung der horizontalen Kieferrelation sind von der vorhandenen Bezahnung abhängig und betrafen zunächst hauptsächlich *zahnlose Patienten*, bei denen keine maximale Interkuspidation mehr vorhanden war:

- Extraorale Stützstift-Registrierung [154–157],
- "Bisskugel-Verfahren" [533],
- Intraorale Stützstift-Registrierung [355],
- Wachs-Registrate in zentrischer Kondylenposition (umgangssprachlich auch als "Zentrikgistrate" bezeichnet), handgeführte Kieferrelationsbestimmung, früher: "Handbissnahme" [160,355],
- Zunge an dorsalen OK-Prothesenrand [421],
- "Kalottenbissnahme" [112],
- "Plättchenverfahren" [238],
- Neuromuskuläre Verfahren: Adduktionsfeld, [94], Beißkraft-Bestimmung [52], "Schluckbissnahme" [187,444], "Mundwinkel-Phänomen" [254], "Muskel-Resultante, Bisspunkt" [432], myozentrische Kieferrelationsbestimmung [215,417].

Lauritzen [278], Lucia [297] und Dawson [88] hingegen entwickelten Registriertechniken für *vollbezahnte Patienten* mit vorhandener maximaler Interkuspidation und gesundem craniomandibulären System:

- "Lauritzen-Griff" mit Wachs-Registrierat in zentrischer Kondylenposition [278],
- Frontzahn-Aufbiss kombiniert mit einem Registrieratmaterial im Seitenzahnbereich, "Jig", "Leaf Gauge" [295,297],
- "Dawson-Griff" mit Wachs-Registrierat in zentrischer Kondylenposition [88].

Folgen eines ungleichmäßigen interokklusalen Kontakts

Bei *festsitzendem Zahnersatz* können als Folgen einer ungleichmäßigen Okklusion unspezifische Beschwerden wie

- Schmerzen,

- Müdigkeit der Muskeln, Myoarthropathie, craniomandibuläre Dysfunktion,
- suchen der Unterkieferposition ("Kontrollkontakte"), motorische Unruhe des Unterkiefers (Pat. "weiß nicht, wohin"),
- Zahnlockerungen,
- Triangulationen / Knochenabbau,
- verstärkte Abrasionen und
- bei Implantaten: Schraubenlockerungen

auftreten [30,66,78,124,139,162,188,242–244,247,279,293,323,351,379,393,394,409,535].

Wird das Ziel eines gleichzeitigen und gleichmäßigen Aufbisses bei *abnehmbarem Zahnersatz* nicht erreicht, hat das neben Auswirkungen auf das Zurechtkommen der Patienten [116,117,134,349,350] auch folgende Effekte:

- Verändertes Aussehen,
- Schlechter sitzende (= weniger gut saugende) Prothesen,
- Druckstellen, Schleimhautreizungen, Schleimhautbrennen, Prothesenstomatitis,
- Prothesenklappern, Phonationsprobleme,
- Pressen, Knirschen (indirekt),
- Unspezifische Beschwerden: Suchen der Unterkieferposition ("Kontrollkontakte"), Unwohlsein, Müdigkeit der Muskeln.

Folgen wie verstärkte Knochenresorption und craniomandibuläre Dysfunktion sind *bei Prothesenträgern* nicht durch Studien gesichert.

Die Forderung, dass sich rechte und linke Zahnreihen beim Kieferschluss *gleichzeitig und gleichmäßig* ohne horizontale Abweichungen der Mandibula berühren sollen, ist zum einen durch die praktische zahnärztliche Erfahrung unterlegt. Zum anderen haben Studien bei bezahnten Probanden gezeigt, dass experimentell erzeugte okklusale Interferenzen in maximaler Interkuspitation oder als Balancehindernis bereits ab einer Dicke von nur etwa 50 µm Unbehagen, Zahn-, Kopf- oder Muskelschmerzen, Gelenkknacken, Bruxismus oder eine negative Beeinflussung des Kaumusters bewirken bzw. die Beweglichkeit des Unterkiefers einschränken können. Diese sehr feine okklusale Empfindlichkeit wird von Studien zur interokklusalen Tastfähigkeit untermauert: Zwischen antagonistischen natürlichen Zähnen bzw. Implantaten können Menschen etwa 20 µm, zwischen Totalprothesen-Zähnen etwa 200 µm als Fremdkörper erkennen [106,107,476,490–492,520]. Das bedeutet, dass eine nicht gleichzeitige und gleichmäßige Berührung der Zähne des Gegenkiefers bzw. okklusale Interferenzen bei dafür empfänglichen Personen Symptome einer craniomandibulären Dysfunktion bzw. "Unwohlsein" auslösen können [30,98,124,161,244–246,276,279,304,322,323,379,391,409,475].

Horizontale Kieferrelationsbestimmung bei Patienten mit Verdacht auf craniomandibuläre Dysfunktionen

Empfehlung 13: Schmerzen im craniomandibulären System erfordern eine Vorbehandlung (neu in 2022)	
Ergibt die klinische Untersuchung den Verdacht auf das Vorliegen einer craniomandibulären Dysfunktion, so sollte die vorgefundene Okklusion in der Regel nicht sofort für den Zahnersatz übernommen werden, sondern es sollte zunächst funktionell vorbehandelt werden (z. B mit Okklusionsschienen. [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Die Begründung liegt darin, dass es denkbar bzw. nicht ausgeschlossen ist, dass die vorliegende maximale Interkuspidation die Beschwerden unterstützt bzw. ein *Kofaktor* für die gesundheitlichen Probleme darstellen kann [21,22,121,164,233,242–244,247]. Führt die Funktionstherapie mit Okklusionsschienen zu einer Entspannung der Kaumuskulatur, so kann sich die Unterkieferhaltung in manchen Fällen verändern, was wiederum Auswirkungen auf den (Wieder-)Aufbau der Kauflächen hat. Die Entscheidung zum Belassen der vorliegenden bzw. zur Übernahme einer veränderten und beispielsweise mit der Okklusionsschiene ausgetesteten Unterkieferhaltung ist daher erst im Anschluss an eine funktionelle Vorbehandlung sinnvoll (wissenschaftliche Mitteilung "Funktionstherapie" in Vorbereitung).

Das Thema "Okklusion als Ausgangsfaktor für craniomandibuläre Dysfunktionen" wird international kontrovers diskutiert. Es ist wichtig zu betonen, dass dysfunktionell verursachte Schmerzen im craniomandibulären System multifaktoriell bedingt sind und es nur selten erforderlich ist, die Kauflächen der Zähne zur Therapie einer craniomandibulären Dysfunktion systematisch umzuformen, einzuschleifen oder aufzubauen.

6.2.4 Referenzpositionen für die horizontale Kieferrelationsbestimmung

Die Positionierungsmöglichkeiten des Unter- gegenüber dem Oberkiefer hängen von der Anzahl und der Verteilung der interokklusal in Kontakt stehenden Zähne ab. Grundsätzlich sind folgende Möglichkeiten denkbar:

1. *Sind genügend Zähne vorhanden*, die die Unterkieferposition interokklusal dreidimensional, eindeutig und kippfrei abstützen, so liegt eine maximale Interkuspidation vor. Besteht eine stabile maximale Interkuspidation, so legen die statischen Okklusionskontakte der Kauflächen die Position des Unterkiefers fest. Diese Position wird nach Möglichkeit bei funktionsgesunden Patienten z. B. für Zahnersatz übernommen, weil u. a. die Genauigkeit der Zuordnung anderen Verfahren der horizontalen Relationsbestimmung überlegen ist.

2. Es sind *genügend Zähne vorhanden*, die die Unterkieferposition immer noch interokklusal dreidimensional, eindeutig und kippfrei abstützen, jedoch weisen vor allem die Okklusalflächen *generalisiert ausgeprägte Karies, sehr starke Attritionen/ Abrasionen /Erosionen bis ins Dentin* auf (TWES Grade 3 bis 4 [20,401,541,542]), oder es liegen Zahnlücken mit stärker gekippten Zähnen, ein Senkbiss oder eine sekundäre Unterkieferverlagerung vor: Zwar kann noch immer eine maximale Interkuspidation vorhanden sein, die Position des Unterkiefers hat sich jedoch möglicherweise deutlich verändert, sodass für die anstehende restaurative Behandlung eine Rekonstruktion der horizontalen *und* vertikalen Kieferrelation erforderlich ist.
3. Es sind zwar noch Zähne vorhanden, eine *interokklusal eindeutige, die Unterkieferhaltung kippfrei sichernde Abstützung ist jedoch nicht mehr gegeben* (= es liegen nur noch zwei oder weniger Stützzonen vor). Diese Voraussetzungen sind identisch mit der Situation bei zahnlosen Patienten: Die maximale Interkuspidation ist in diesen Fällen definitiv verloren gegangen, sodass die horizontale *und* vertikale Kieferrelation rekonstruiert wird. Die vorhandenen okkludierenden Zähne können u. U. als Anhaltspunkt für die vertikale Kieferrelation herangezogen werden.

Wenn bei gesundem stomatognathen System die interokklusale Abstützung jedoch für eine eindeutige Zuordnung nicht mehr ausreichend ist und die Unterkieferhaltung daher rekonstruiert werden muss, eröffnen sich Diskussionsbereiche: Neben Unterschieden im praktischen Vorgehen bestehen immer noch grundsätzlich verschiedene Auffassungen darüber, ob die Positionierung des Unterkiefers in diesen Fällen durch die Zahnärztin / den Zahnarzt geführt (= manipuliert) oder aber durch den Patienten selbst bei entspannter Kaumuskulatur, unter eigenem Kieferschluss und bei aufrechter Kopf- und Körperhaltung erreicht werden soll (s. Abschnitt 6.2.4). Diese verschiedenen Voraussetzungen haben unterschiedliche Methoden der horizontalen Relationsbestimmung zur Folge.

Maximale Interkuspidation (MI)

Empfehlung 14: Indikation der maximalen Interkuspidation (neu in 2022)	
Die maximale Interkuspidation sollte bei <i>funktionsgesunden</i> Patienten übernommen werden, die in vier Quadranten abgestützte Zahnreihen aufweisen und nicht aus anderen Gründen restauriert werden müssen. Das Verfahren besteht darin, dass der Patient bei festem Kieferschluss die maximale Verzahnung einnimmt. [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Es erscheint sinnvoll, nach herkömmlicher Abformung und Modellherstellung die Modelle in Form des einfachen Zusammensetzens in "Handokklusion" zu positionieren, denn jedes interokklusal platzierte

Registral führt zu einer Bisserrhöhung, die abhängig von der Art des Registral-Materials ist [385,449,459].

Empfehlung 15: Indikation von Registraten in maximaler Interkuspitation (neu in 2022)	
<p>Zur Montage der Modelle in maximaler Interkuspitation sollte nur dann ein interokklusales Durchbiss-Registral Verwendung finden, wenn sich die Modelle nicht eindeutig zueinander platzieren lassen, d.h. bei Drehbewegungen gegeneinander "ein Spiel aufweisen". Empfehlenswert sind dann Registralmaterialien aus Silikon. Ist kein Registral notwendig, so liegt die Genauigkeit der Platzierung bei ca. 0,1 mm (s. Abschnitt 5.2.3).</p> <p>[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 1 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Literatur: [510,515].	

Trotz der großen praktischen Bedeutung ist allerdings nur wenig bekannt, dass die Übertragung der maximalen Interkuspitation nach mundoffenen Abformungen mit Hilfe herkömmlicher Modelle in einen Artikulator – auch wenn alle Zähne und kein Durchbiss-Registral vorhanden sind – häufig nur fehlerhaft gelingt: Die einzelnen Zahnpositionen sind bei geöffneten Zahnreihen ohne interokklusale Zahnkontakte geringfügig gegenüber denen bei geschlossenem Kiefer verändert. Verursacht wird dies wahrscheinlich hauptsächlich durch die parodontale Resilienz, zusätzlich auch durch die Verbiegung der Unterkieferspange bei größerer Mundöffnung, weniger durch die Fehler der Abformungen oder die Expansion der Gipse. Die Auswirkungen bestehen darin, dass die interokklusalen Kontakte der Modelle im Artikulator nicht denen im Mund entsprechen, sie sind demgegenüber deutlich reduziert [384,385,390,392,510,515].

Empfehlung 16: Vermeidung okklusaler Fehler (neu in 2022)	
<p>Um Übertragungsfehler auszugleichen (Diskrepanz zwischen der okklusalen Kontaktsituation im Mund und an den Modellen im mechanischen Artikulator), sollten zunächst die Modelle in maximaler Interkuspitation zusammengefügt und in einen Artikulator montiert werden.</p> <p>Anschließend sollte die interokklusale Kontaktsituation der Modelle im Artikulator durch geringfügige Radierungen der Okklusalfächen der Modellzähne der intraoralen Situation angeglichen werden, bevor von zahntechnischer Seite die Modelle beispielsweise für die Modellation von Restaurationen weiterverwendet werden.</p> <p>Geschieht dieser "Korrekturvorgang" nicht, erweisen sich die fertiggestellten Restaurationen vielfach als okklusal "zu hoch" und erfordern intraoral mehr oder weniger aufwendig und umfangreich ein okklusales Einschleifen. Zur strukturierten Umsetzung der Korrekturmaßnahmen ist es hilfreich, die klinische Okklusionssituation zu protokollieren.</p>	Starker Konsens

[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 1 Enthaltung]	
Expertenkonsens	

Diese Fehler lassen sich durch ein mundgeschlossenes Abformverfahren, die "Doppelbiss-Abformung", vermeiden [140,158,222,252,286,307,548]. Voraussetzung ist u. a., dass die Patienten ihren Kiefer mit einer gewissen Kraft in der maximalen Interkuspitation schließen [338]. Problematisch ist, dass systembedingt leider nur eine Abformung eines Quadranten erfolgen kann, weil u. a. Ober- und Unterkiefer bei einem mundgeschlossenen Gesamtabdruck zu fest miteinander verbunden sind und durch den Patienten nicht mehr geöffnet werden können. Die Methode dient daher lediglich zur Quadranten-Abformung und Herstellung einzelner Inlays oder Onlays bei der Einzelzahnrestauration, ist in diesen Fällen aber wegen der guten okklusalen Passform zu empfehlen.

Für die angestrebte Übernahme der maximalen Interkuspitation kann ein gravierendes praktisches Problem entstehen, wenn ein letzter, dorsal-okklusal abstützender Pfeiler z. B. für eine Brücke präpariert werden muss (z. B. Zähne 35-37 oder 15-17): Auch wenn die Zahnärztin oder der Zahnarzt objektiv genügend interokklusalen Freiraum beim dorsal abstützenden Zahn durch Präparation geschaffen hat, kann man häufig beim Kieferschluss feststellen, dass trotzdem weiterhin ein Kontakt der nunmehr gekürzten Okklusalfäche zum Gegenkiefer besteht. Man muss in diesen Fällen davon ausgehen, dass sich die Position der Kondylen in den Kiefergelenken durch die Entfernung der letzten okklusalen Abstützung deutlich verändert hat. Die Ursache ist, dass die Kondylen in maximaler Interkuspitation nicht etwa grundsätzlich eine abgestützte obere Endposition im Gelenk haben, sondern dass ihre Stellungen eine große individuelle Variationsbreite der Positionen aufweisen (s. a. Abschnitt 5)[44,248,282,447,485,506,512]. Die ursprüngliche maximale Interkuspitation kann in diesen Fällen nur dann beibehalten werden, wenn dies vor (!) der Präparation entsprechend berücksichtigt wird (z. B. "gezielte okklusale Reduktion" [252,497], MemoBite-Verfahren nach Christiansen [77] o. ä.). Dazu ist es erforderlich, das Problem auch vor (!) der Präparation zu erkennen.

Neuromuskuläre Position (NMP)

Sind Zustand oder Verteilung der eigenen Zähne ungünstig bzw. ist der Patient zahnlos, bleiben nur noch zwei Möglichkeiten: Entweder kann das neuromuskuläre System des Patienten die Lagebestimmung des Unterkiefers durch Kieferschluss determinieren (neuromuskuläre Registrierung), oder der Behandler positioniert den Unterkiefer durch Führung in eine wiederholbare Grenzposition der Kiefergelenke (zentrische Kondylenposition), denn die maximale Interkuspitation mit ihrer guten Übertragungsgenauigkeit ist verloren gegangen.

Bei voll bezahnten Menschen und aufrechter Kopf- und Körperhaltung führt die Muskulatur den Unterkiefer beim Kieferschluss i. d. R. komplikationslos in die maximale Interkuspitation hinein. Daher liegt es nahe, die Schließbewegungen der Mandibula nach geringer Kieferöffnung zur Registrierung der Unterkieferlage z. B. beim unbezahnten Patienten heranzuziehen. Die Annahme ist, dass dadurch eine der ursprünglichen maximalen Interkuspitation nahekommende und somit ungezwungene, "natürliche" bzw. vor allem physiologische horizontale Unterkieferhaltung wiedergefunden und

festgelegt werden kann, denn "Gelenke funktionieren nicht in Grenzstellungen" (Krogh-Poulsen, persönliche Mitteilungen, Bonn 1978). Die zweifellos zunächst überzeugende Argumentation ist aus mehreren Gründen kritisch zu sehen:

1. Neuromuskuläre Registrierungen z. B. mit myofunktionellen Apparaturen [214] reizen nur einen kleinen Anteil der Kaumuskulatur. Die resultierende Position ist daher nicht voll umfänglich mit dem Endpunkt einer "physiologischen" Schließbewegung gleichzusetzen.
2. Registrierungen der neuromuskulären Position ("Myozentrik") resultieren bei zahnlosen Patienten nicht in einer präzisen, punktförmigen Unterkieferposition. Mit Stützzstiftplatten ergeben sich z. B. völlig verschieden geformte "Adduktionsfelder". Daraus eine "richtige" Position für den Unterkiefer herauszulesen ist interpretationsbedürftig und mit größeren Fehlern behaftet [501]. Auch mit anderen muskelorientierten Verfahren ist es nicht leicht, eine eindeutige, wiederholbare "Interkuspitations"-Position während des Vorgangs der Registrierung zu erhalten, die später eine sichere Zuordnung der Schablonen außerhalb des Mundes erlaubt. Die Reproduzierbarkeit dieses Verfahrens ist daher zwangsläufig reduziert [147,501]. Eine akzeptable Reproduzierbarkeit in der Festlegung der Unterkieferhaltung ist aber absolut notwendig, damit auch an verschiedenen Tagen ähnliche, einer mehrfachen Kontrolle standhaltende Ergebnisse erzielt werden können.
3. Die praktische Durchführung einer von der Muskulatur dominierten Registrierung ist zumindest mit zentralen Stützzstiftplatten diskussionswürdig, weil die Muskulatur, auf die es hier ankommt, in nicht vorauszusehender Weise beeinflusst wird und dem nur durch die Muskulatur geführten Unterkiefer eine Fremdkörper-bedingte, veränderte Lage geben kann. Die Einflüsse auf die Registrierung sind mannigfaltig [43,52,251,501].
4. Messergebnisse zeigen, dass selbst bei Bezahnten die mit zentralen Stützzstiftplatten erzielte NMP nicht mit der jeweiligen maximalen Interkuspitation identisch ist [52,113,147,166,186,220,229,250,439,534]. Das Ziel, die ursprüngliche maximale Interkuspitation im idealen Fall zu übertragen, wurde in keinem Fall erreicht! Bei Patienten, die zahnlos sind, ist der Zusammenhang noch weniger gegeben [501]. Etwas davon abweichende Resultate konnten allerdings in einer Studie bei vollbezahnten Probanden beobachtet werden, die schnelle Schließbewegungen des Unterkiefers aus einer geringen Kieferöffnung heraus untersucht hat. Hier war die ermittelte kondyläre Position jedoch auch nicht mit der maximalen Interkuspitation der Probanden identisch, die Lage der Kondylen allerdings nicht retrahiert, sondern etwas weiter anterior. Die Genauigkeit der Registrierung war sogar der der zentrischen Kondylenposition überraschend ähnlich (s. u.) [168]. Die praktische Durchführung der Registrierung in der zahnärztlichen Praxis erscheint allerdings nicht einfach, die Methode wurde bei zahnlosen Patienten noch nicht geprüft. Die Bedingungen sind auch bei vollbezahnten Patienten ganz unterschiedlich (s. nächster Punkt).
5. Die Unterkieferlage verändert sich bei Patienten mit Totalprothesen im Laufe ihrer Tragezeit häufig in Richtung einer weiter anterioren Haltung. Die Ursachen liegen in der Einlagerung der Prothesen in das Tegument, der Abrasion der künstlichen Zähne und der Resorption der Alveolarknochen. Dies resultiert in einer Verschiebung der Prothesen und einer Veränderung der Okklusion [165,223,380,381,414,454,462–466,493,495,496]. Der Prozess schreitet nach

initialer Abheilung langsam voran, die Muskulatur adaptiert sich. Das hat im Laufe der Jahre häufig eine immer weiter nach anterior verschobene Unterkieferhaltung zur Folge.

Empfehlung 17: Indikation neuromuskulärer ("myozentrischer") Registrierungen (neu in 2022)	
Bei <i>bezahlten</i> Menschen sollte eine neuromuskuläre Positionierung für die Anfertigung definitiver festsitzender Restaurationen <i>nicht</i> durchgeführt werden. Zur Herstellung von Totalprothesen sollte die neuromuskuläre Registrierung i. d. R. nicht für eine definitive Festlegung der Kieferrelation eingesetzt werden. Eine Ausnahme bilden sehr alte, zahnlose Patienten mit stark reduzierter Adaptationsmöglichkeit, bei denen eine Duplizierung der Prothesen indiziert ist. [12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 1 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Zentrische Kondylenposition (ZKP), zentrische Okklusion (ZO)

Die *zentrische Kondylenposition*, umgangssprachlich verbreitet als "Zentrik" bezeichnet [481], ist eine kraniale Grenzhaltung der Kiefergelenke, die okklusale Kontakte spielen dabei keine Rolle. Die Definition der zentrischen Kondylenposition als eine "kranio-ventrale, nicht seitenverschobene Position beider Kondylen bei physiologischer Kondylus-Diskus-Relation und physiologischer Belastung der beteiligten Gewebe" (s. Abschnitt 3) [15,59] hat sich, nach einer langen Entwicklung, inzwischen auch in den USA durchgesetzt [9].

Schließt eine Patientin oder ein Patient den Unterkiefer aus dieser Haltung und verändern dabei die Kondylen ihre Position in den Gelenken auch dann nicht, wenn die statische Okklusion (maximale Interkuspidation) erreicht ist, dann spricht man von einer *zentrischen Okklusion* (ZO) [15,59]. Diese Position wurde früher von den Gnathologen "alter Schule" als eine Art Idealposition der Mandibula für alle zu behandelnden Fälle missverstanden [278,456]. Sie verkannten dabei, dass nur etwa 10% der natürlich bezahlten Bevölkerung eine Übereinstimmung von maximaler Interkuspidation und zentrischer Kondylenposition aufweisen (Literaturüberblick siehe [506,511]). Das heißt aber andererseits auch nicht – und das wird oft übersehen – dass diese Unterkieferhaltung "in der Natur" nicht zu beobachten wäre.

Die rein theoretisch definierte Unterkiefer-Lagebestimmung in zentrischer Kondylenposition beinhaltet folgende praktische Probleme (s. auch Abschnitt 5):

1. In der zahnärztlichen Praxis kann man die Stellung der Kondylen in den Gelenken nicht sichtbar machen bzw. sie lässt sich allenfalls indirekt mit aufwendigeren Hilfsmitteln darstellen,
2. Die Einnahme der Position durch die Patientin oder den Patienten allein ist nicht möglich,
3. In der Konsequenz kann auf eine gewisse Führung des Unterkiefers durch den Behandler nicht verzichtet werden, was

4. Dies kann Fehlpositionierungen zur Folge haben und scheint einer "physiologischen" Positionierung zu widersprechen.

Die zentrische Kondylenposition eignet sich – trotz der oben aufgeführten Einschränkungen – als Ausgangspunkt für die Okklusionsschienenbehandlung [24,412,413], die instrumentelle zahnärztliche Okklusionsanalyse und die umfangreiche okklusale Rekonstruktion [100,144,169,235], weil sie wichtige Voraussetzungen erfüllt:

1. Es handelt sich – wie die maximale Interkuspidation – um eine physiologische Unterkieferposition, weil ca. 10% der natürlich bezahnten, gesunden Bevölkerung eine solche Haltung "von Natur aus" aufweisen. Wenn die beim Patienten vor der Behandlung vorliegende Unterkieferhaltung deutlich abweicht und eine Umstellung der Unterkieferposition indiziert ist, ist es sinnvoll, eine Austestung mit einer Okklusionsschiene vorzuschalten,
2. Fehlpositionierungen des Unterkiefers durch den Behandler lassen sich durch Übung/ Erfahrung und vor allem Überprüfung anhand mehrerer Registrate vermeiden (Split-Cast-Methode und Kondylenpositionsanalyse [102]),
3. Die Unterkieferposition ist vor allem deutlich besser und sicherer reproduzierbar als die neuromuskuläre Relation [109,169,502,516]. Eine Reproduzierbarkeit benötigt man z. B. als Kontrollmöglichkeit der Einstellung der horizontalen Relation in den verschiedenen Phasen der Herstellung von Zahnersatz [517].
4. Die Unterkieferposition ist für die Patienten i. d. R. problemlos adaptierbar, wenn vorher keine zu große Abweichung zwischen ZKP und MI bestand.

Zur Einstellung der zentrischen Kondylenposition als Ausgangspunkt zur Etablierung der statischen Okklusion (= zentrische Okklusion) existieren unterschiedliche Vorgehensweisen, die von der Anzahl und Verteilung der Zähne abhängen.

Statement 14: Voraussetzung für die Registrierung in zentrischer Kondylenposition (neu in 2022)

Im Rahmen der restaurativ-prothetischen Versorgung ist die Registrierung in zentrischer Kondylenposition an Voraussetzungen gebunden, die darin bestehen, dass

1. das craniomandibuläre System soweit möglich schmerz-/ dysfunktionsfrei ist,
2. vorhandene Zähne oder Registrierschablonen bei der Registrierung keine interokklusalen Berührungen aufweisen (= nur das Registrat in zentrischer Kondylenposition selbst gibt einen gleichmäßigen, kippfreien Aufbiss),
3. gleichzeitig nur eine sehr geringe vertikale Sperrung des Bisses im Vergleich zur maximalen Interkuspidation vorliegt.

[9 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Starker Konsens

Expertenkonsens

Registrierung der ZKP bei bezahnten Patienten: Registrat in zentrischer Kondylenposition

Zur Registrierung der zentrischen Kondylenposition haben sich *bei bezahnten Patienten* vor allem Verfahren mit gesperrten Registraten ("Checkbiss-Registraten") bewährt. Die Art der Führung des Unterkiefers während der Registrierung hat Auswirkungen auf die Position der Kondylen. *Lauritzen-Griff* und *Lucia-Jig* forcieren bzw. platzieren den Unterkiefer eher nach dorsal, während die deutlicher nach kranial abzielende Führung mittels der bimanuellen Manipulation (*Dawson-Griff*) als physiologischer gilt. Klinische Studien konnten inzwischen nachweisen, dass eine Registrierung mittels Frontzahnreiter die relativ am weitesten dorsale Position der Kondylen im Vergleich zu anderen Registraten zur Folge hat. Aber auch der Dawson-Griff führte bei den Platten-Registraten nicht zu der erwünschten obersten kondylären Lage. Dagegen legt die Registrierung mit dem zentralen Stützstift als einziges Verfahren eine gegenüber den Registraten in zentrischer Kondylenposition bestehende "kranial und anteriore" gelegene kondyläre Position fest [470,512] und scheint so der theoretischen Definition und Forderung am nächsten zu kommen.

Statement 15: Unterschiedliche Herstellungs-Verfahren von Registraten in zentrischer Kondylenposition (neu in 2022)

Es liegt keine externe Evidenz vor, dass Restaurationen, bei denen Registerate in zentrischer Kondylenposition einer bestimmten Verfahrensweise bzw. Methodik zugrunde gelegt wurden, andersartigen Verfahrensweisen über- oder unterlegen sind.

[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Literatur: [235,509,516]

Empfehlung 18: Einsatz der zentralen Stützstift-Registrierung bei teilbezahnten Menschen (neu in 2022)

Je nach Verteilung der Restzähne unterliegt der Einsatz der zentralen Stützstift-Registrierung *bei teilbezahnten Menschen* Einschränkungen. Die Abstützung der Registrierplatten **sollte** derart gestaltet sein, dass bei der Aufzeichnung eine stabile Lage der Platten gewährleistet ist. Die Sperrung der vertikalen Relation **sollte** darüber hinaus möglichst gering sein.

[9 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

starker Konsens

Expertenkonsens

Bei *Patienten mit noch okkludierenden Zahnpaaren im Seitenzahnbereich* ergibt sich bei Veränderung der horizontalen Kieferrelation folgender Sachverhalt: Die maximale Interkuspidation liegt im Kondylarbereich im Mittel etwa 0,5-0,8 mm von der zentrischen Kondylenposition entfernt und ist i. d. R. weiter anterior positioniert [506,511]. Führt man den Unterkiefer bei noch okkludierenden

Zahnpaaren nach dorsal in zentrische Kondylenposition, dann ist dies nur ohne interokklusale Kontakte möglich, wenn der Kiefer dabei gleichzeitig geöffnet und die vertikale Kieferrelation somit angehoben wird. Dies ist dem Höcker-Fissurenrelief der Seitenzähne geschuldet. Wird diese Unterkieferlage gelegt, ohne interokklusale Kontakte registriert und senkt man nach Montage im Artikulator die Modelle durch Reduzierung der Frontstiftlänge ab, dann haben zuerst die Seitenzähne Kontakt, die maximale Interkuspidation wird nicht erreicht. Somit bleibt die vertikale Relation gesperrt und es fehlt zusätzlich der u. U. vorher vorhandene Frontzahnkontakt: Die Frontzahnführung geht verloren. Um die zentrische Kondylenposition in diesen Fällen zusammen mit der Frontzahnrelation korrekt einzustellen, müssen entweder die Seitenzähne okklusal gekürzt ("eingeschliffen") und u.U. die vertikale Relation sogar abgesenkt, und/ oder die Frontzahnrelation durch additive Techniken wiederhergestellt werden.

Empfehlung 19: Verwendung der zentrischen Kondylenposition bei Patienten mit noch okkludierenden Zahnpaaren im Seitenzahnbereich (neu in 2022)

Um die zentrische Kondylenposition bei Patienten mit noch okkludierenden Zahnpaaren im Seitenzahnbereich zusammen mit der Frontzahnbeziehung adäquat einstellen zu können, **kann** es erforderlich sein, die Seitenzähne okklusal zu kürzen ("einzuschleifen") und unter Umständen die vertikale Relation abzusenken, und/oder die Frontzahnrelation durch additive Techniken wiederherzustellen.

starker Konsens

[9 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Expertenkonsens

Registrierung der ZKP bei unbezahnten Patienten: Handgeführte Kieferrelationsbestimmung

Die übliche Methode, die horizontale Relationsbestimmung bei *unbezahnten Patienten* durchzuführen, ist die sogenannte "handgeführte Kieferrelationsbestimmung". Gegenüber dem Stützstiftverfahren bietet die handgeführte Kieferrelationsbestimmung zeitliche Vorteile und lässt sich ohne Laborhilfsmittel am Patienten durchzuführen. Das sind neben der fehlenden Übung sicher die wesentlichen Gründe, warum dieses Verfahren in der niedergelassenen Praxis das Übliche ist. Allerdings ist nicht nur die Reproduzierbarkeit der "Handbissnahme" (ca. 0,7 mm im Kondylarbereich) der der Stützstift-Registrierung geringfügig unterlegen (ca. 0,5 mm im Kondylarbereich), auch die Gefahr von Fehlregistrierungen ist höher. Darüber hinaus sind die Kontrollmöglichkeiten der Relationsbestimmung ebenfalls geringer [38,503,514]. In der theoretischen Abwägung sollte man auch nicht außer Acht lassen, dass die handgeführte Kieferrelationsbestimmung – mag sie auch noch so präzise durchgeführt werden – immer eher in einer dorsalen Grenzposition der Kiefergelenke und somit in einer vom Behandler manipulierten Unterkieferhaltung resultiert: Ohne Führung des Unterkiefers und gleichzeitige Stabilisierung der Schablonen oder Prothesen durch den Behandler lässt sich keine Relationsbestimmung bei zahnlosen Patienten durchführen. Eine Führung mit dem Dawson-

Griff bietet sich nicht an, weil die Registrierschablonen oder Prothesen zur gleichen Zeit stabilisiert werden müssen.

Registrierung der ZKP mit intraoraler Stützstift-Registrierung

Methode

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 [313]). Als Hilfsmittel werden sog. "Stützstiftplatten" im Ober- und Unterkiefer im zahntechnischen Labor hergestellt oder von der Zahnärztin / vom Zahnarzt an den Registrierschablonen oder Prothesen befestigt. Beim System nach Gerber wird die Schreibplatte aus Metall im Unterkiefer in Höhe der Okklusionsebene und transversal zwischen den Zahnreihen - unter Verdrängung der Zunge - befestigt. Im Oberkiefer befindet sich ein vertikaler "zentraler Stützstift", der die Okklusionsebene geringfügig überragt und etwa zwischen den zweiten Prämolaren und den ersten Molaren sowie über der Mittellinie des Gaumens angebracht wird. Nach dem Einfügen dieser Hilfsmittel in den Mund kann der höhenverstellbare zentrale Stützstift so eingestellt werden, dass bei Kieferschluss und in zentrischer Kondylenposition lediglich ein Kontakt zwischen dem Stift und der Platte entsteht. Es ist wichtig, dass die Zahnreihen selbst jedoch möglichst nur minimal diskludiert sind [136,138]. Bei zahnlosen Patienten versucht man den Stützstift so anzubringen, dass obere und untere Registrierschablonen oder Prothesen bei senkrechtem Druck "im Zentrum der Belastung" beide keine Kippbewegungen ausführen (bei Diskrepanzen mit Schwerpunkt auf der ruhigen Lage der Unterkieferprothese). Besonders bei unbezahnten Patienten übt die Position des Stützstifts auf der Aufzeichnungsplatte einen hohen Einfluss auf die Qualität der Registrierung aus!

Trägt man eine Farbschicht auf der Schreibplatte auf, können bei entsprechender Kiefer-Sperrung durch die zentrale Schraube die horizontalen Grenzbewegungen der Mandibula ohne weitere interokklusale Kontakte abgefahren werden. Durch wiederholte anteriore, posteriore und Lateralbewegungen nach rechts und links wird auf der Unterkieferplatte ein "Pfeilwinkel" sichtbar. An der Stelle, wo sich die beiden Lateralbewegungen in der Medianebene treffen, entsteht eine "Pfeilwinkelspitze" ("most retruded position of *function*" [313]). Diese Position des Stützstiftes auf der Platte ist identisch mit einer oberen und hinteren, gut reproduzierbaren Grenzposition der Kondylen. Sie wird bei dieser Methode als "zentrische Kondylenposition" definiert. Mit unphysiologischem Druck lassen sich Unterkiefer und damit die Kondylen ab und zu noch etwas weiter nach dorsal führen. Werden nicht nur die seitlichen posterioren, sondern auch die anterioren und protrusiv-lateralen Grenzbewegungen unter Kontakt der Stützstiftplatten abgefahren, stellt sich auf der Schreibplatte eine Raute dar. Sie ist gleichbedeutend mit einem individuellen horizontalen Querschnitt des Posselt-Keils [362].

Statement 16: Aufzeichnung lateraler und protrusiver Bewegungen mit intraoralem Stützstift bei bezahnten Patienten (neu in 2022)

Eine *vollständige* Aufzeichnung der lateralen und protrusiven Bewegungen (Grenzpositionen) erfordert vor allem bei bezahnten Patienten – bedingt durch das Höcker-Fissurenrelief – in der Regel eine erhebliche Sperrung der Vertikaldimension. Die *vollständige* Aufzeichnung ist für eine Relationsbestimmung nicht erforderlich.

[9 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

starker Konsens

Expertenkonsens

Entwicklung der Methode

Die Stützstift-Registrierung wurde zunächst von Gysi als extraorale Registriermethode für die Herstellung von Totalprothesen beschrieben [154–157]. Gysi setzte das Verfahren ein, um die horizontale Kieferrelation bei unbezahnten Patienten mit Totalprothesen wiederherzustellen. Er war offenbar der Auffassung, dass die Spitze des Pfeilwinkels der ehemaligen maximalen Interkuspitation der Patienten entsprechen würde [353]. Erst im Laufe der Zeit setzte sich die Erkenntnis durch, dass sowohl die maximale Interkuspitation als auch der Adduktionspunkt mit jeweils unterschiedlichen Entfernungen von der Spitze des Pfeilwinkels abweichen [94,159,183,184,228,362,438,501,554,555].

Es ist das Verdienst von Phillips [355], das Verfahren als intraorale Technik bei Totalprothesen beschrieben und angewendet zu haben, so wie es im Wesentlichen heute noch eingesetzt wird. Gerber hielt die Methode besonders für die Herstellung von Totalprothesen [137], aber auch für die Behandlung von Patienten mit craniomandibulären Dysfunktionen für geeignet [136]. Das Ziel der Stützstift-Registrierung war von Anfang an, Zahnersatz (früher: Totalprothesen; heute auch: Okklusionsschienen) bei umfangreich zu rekonstruierenden Patienten in einer "physiologischen" und "gut adaptierbaren" Unterkieferlage einzugliedern. So hielt z. B. Gerber die Führung des Unterkiefers über eine handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung [160,421] für "unphysiologisch". Er war der Auffassung, dass die Kondylen der Kiefergelenke – wie andere Gelenke auch – gewisse Freiheitsgrade benötigen und Registrate in zentrischer Kondylenposition den Unterkiefer – durch die Art der manuellen Führung bedingt – in einer retralen, dorsal forcierten Haltung "zwangsfixieren". Er befand sich mit dieser Ansicht im Gegensatz zu den "Gnathologen", die eine Platzierung des Unterkiefers mittels Registraten in zentrischer Kondylenposition und straffer Führung für den angesagten Zweck für "richtiger" hielten [278]. Diese Diskussionen und die Entwicklungen spiegeln sich in den verschiedenen Definitionen der kondylären Stellung bei "zentrischer Kondylenposition" wider, die sich im Laufe der Zeit von einer "hintersten" in eine "oberste und anteriore" Position der Kondylen in ihren Fossae veränderte [3–9,313]. Es bestand die allgemeine Überlegung, dass "Gelenke nicht in Grenzstellungen funktionieren". Von der Stützstift-Registrierung nahm man dabei schon damals an, dass sie den Unterkiefer in eine weniger ausgeprägte dorsale Grenzstellung bringen würde [353].

Einflüsse

Bedenken gegen die intraorale Stützstiftregistrierung werden auf folgende Faktoren mit mehr oder weniger Einfluss auf die kondyläre Position und damit die Unterkieferlage zurückgeführt [166,167,209,212,213,225,226,241,271,287,289,290,305,331,339,340,343,376,526,538,552]:

- Stützstiftposition auf der Aufzeichnungsplatte,
- Einengung des Zungenraumes ("Störung des muskulären Gleichgewichtes"),
- Ausgeübte Kraft bei Aufzeichnung oder Verschlüsselung (Schließ-Aktivität der Kaumuskulatur),
- Neigung der Aufzeichnungsplatten zur Okklusionsebene,
- Abbindezeit des Verschlüsselungswerkstoffs und
- Führung des Unterkiefers während der Aufzeichnung des Pfeilwinkels.

Statement 17: Montage von Stützstift -Systemen bei Totalprothesen (neu in 2022)

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

[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Starker Konsens

Expertenkonsens

Diagnostische Möglichkeiten

Prinzipiell können mit einer Stützstift-Registrierung keine Aussagen zur dreidimensionalen Lage der Kondylen gemacht werden, weil die Aufzeichnung lediglich zwei Freiheitsgrade der Unterkieferbewegungen erfasst. Kondyläre Positionen lassen sich auch nur in Relation mit gleichen oder anderen Positionen im Kondylenpositions-Messinstrument auswerten (s. Abschnitt 5.2).

Ein Pfeilwinkel entsteht bei Bezahnten unter Anhebung der Vertikaldimension durch Lateralbewegungen nach rechts und links auf einer horizontalen Ebene. Dabei ist die Bewegungsweite beurteilbar. Eine Interpretation wird aber oft dadurch eingeschränkt, dass der Patient die auszuführenden Bewegungen nicht geübt hat und z. B. eine Verkürzung des Bewegungsumfanges nicht auf einer Funktionsstörung beruht, sondern auf mangelnder Umsetzung zurückzuführen ist. Auch können die im retromolaren Gebiet aufsteigenden Partien von Unterkiefer-Registrierschablonen oder Unterkiefer-Prothesen bei den Bewegungen stören. Bei unbezahnten Patienten kann eine horizontale Beweglichkeit der Registrierschablonen oder Prothesen ein Grund für einen abgerundeten Pfeilwinkel sein.

Statement 18: Diagnostische Möglichkeiten der Stützstift-Registrierung (neu in 2022)	
Mit einer Pfeilwinkelaufzeichnung können nur sehr eingeschränkt diagnostische Erkenntnisse bezüglich der kondylären Bewegung gewonnen werden. [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Statement 19: Möglichkeit der Interpretation der Pfeilwinkel-Form (neu in 2022)	
Wenn bei <i>vollbezahnten</i> Patienten keine tatsächliche Pfeilwinkelspitze, sondern eine abgerundete Aufzeichnung entsteht, ist dies nur dann als eine "Immediate Sideshift"-Bewegung im Kiefergelenkbereich zu interpretieren, wenn die Bewegungen tatsächlich von einem dorsalen Startpunkt aus erfolgten. [12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 1 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Reproduzierbarkeit

Die Reproduzierbarkeit der Stützstift-Registrierung wurde in vielen Studien sowohl bei Bezahnten als auch bei Totalprothesenträgern einerseits zweidimensional auf Höhe der Okklusionsebene und intraoral [53,75,148,166,167,182,186,209,227,232,311,331,438,554,555], andererseits mit zusätzlichen Hilfsmitteln direkt oder indirekt dreidimensional im Kondylarbereich gemessen [23,39,206,255,289,305,306,408,441,445,495,496,498,502,504,514,516]. Die Reproduzierbarkeit zwischen den klassischen und den computergestützten Systemen unterscheidet sich bei den meisten Studien nicht [224,554,555], denn beide Verfahren beruhen auf der gleichen Grundlage. Nur bei *Totalprothesenträgern* ist die Reproduzierbarkeit der Stützstift-Registrierung gegenüber der handgeführten horizontalen Kieferrelationsbestimmung besser (im Mittel 0,5 mm gegenüber 0,7 mm im Kondylarbereich, [504,514,518]). Bei *bezahnten* Patienten attestieren Studien dem Stützstiftverfahren eine Genauigkeit von im Mittel ca. 0,3 mm [502,516]. In diesen Werten ist die Präzision der Platzierung des Plexiglasrondells exakt auf der Pfeilwinkelspitze auf der Schreibplatte integriert (Platzierung mittels Lupenbrille ist vorteilhaft). Das entspricht exakt der Reproduzierbarkeit, die auch die handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung (Registrierung in zentrischer Kondylenposition) bei den entsprechenden Indikationen aufweist.

Statement 20: Reproduzierbarkeit von Pfeilwinkel-Registraten und anderen Registraten in zentrischer Kondylenposition (neu in 2022)	
Bei Bezahnten bestehen in der Reproduzierbarkeit zwischen den grundlegend verschiedenen Methoden der handgeführten horizontalen Kieferrelationsbestimmung und der Pfeilwinkel-Registrierung im Wesentlichen keine Unterschiede. [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Kondyläre Position

Während wir früher davon ausgingen, das handgeführte Kieferrelationsbestimmung und zentrale Stützstiftregistrierung in einer ganz ähnlichen ("derselben") Unterkieferhaltung resultieren würden (= "gleiche" Kondylenposition), ist dies heute widerlegt: Handgeführte Kieferrelationsbestimmung und Verschlüsselung auf der Pfeilwinkelspitze - trotz Pfeilwinkelzeichnung unter moderater Führung des Behandlers - haben unterschiedliche Unterkieferhaltungen zur Folge [53,232,255,418,512–514,552]. Bei Totalprothesenträgern sind nicht nur die Positionen, sondern auch die Reproduzierbarkeiten der beiden Verfahren verschieden: Etwas präziser ist die Relationsbestimmung mit zentralen Stützstiftplatten und der Verschlüsselung auf der Pfeilwinkelspitze (ca. 0,5 mm beim Stützstift gegenüber ca. 0,7 mm bei der handgeführten Kieferrelationsbestimmung) [503,504,513,514].

Die Genauigkeit korrespondiert hier in positiver Weise mit der tatsächlich beim Patienten erforderlichen Präzision zur Einstellung der Okklusion [520]. Allein daraus lässt sich aber sicher keine grundsätzliche Bevorzugung der Pfeilwinkelregistrierung ableiten. Nur eine Studie ist uns zu der sicher letztlich entscheidenden Frage bekannt, ob Patienten mit der einen oder anderen Methode auf Dauer besser zurechtkommen. Auch hier scheint die Pfeilwinkelmethode Vorteile zu besitzen (allerdings ohne statistische Signifikanz) [514].

Verfolgt man das Konzept, dass die Aufzeichnung des Pfeilwinkels unter Handführung des Behandlers erfolgen sollte (anderenfalls wegen der Einengung des Mundraumes Gefahr der Fehlregistrierung!) und die Relationsbestimmung zusätzlich generell auf der Pfeilwinkelspitze zu verschlüsseln ist, so wird dies möglicherweise zunächst – neben den oben angeführten Argumenten – Widerstand hervorrufen (Relation zu weit dorsal, unphysiologische und manipulierte Unterkieferposition u. a.). Tatsache ist aber, dass trotz der Führung des Unterkiefers durch den Behandler während der Aufzeichnung eine gegenüber der handgeführten Kieferrelationsbestimmung um ca. 0,5 mm weiter anteriore(!) Lage der Mandibula resultiert [196,512]. Es ist also eher nicht zu empfehlen und nicht notwendig (aber auch nur bei diesem Verfahren möglich), "hinter der Pfeilwinkelspitze" zu verschlüsseln, um z. B. eine "mittelwertige maximale Interkuspidation" zu erzeugen.

Statement 21: Kontraindikationen der Pfeilwinkel-Registrierung (neu in 2022)	
<p>Die Registrierung der Unterkieferhaltung mit dem intraoralen Stützstiftverfahren hat allerdings im Gegensatz zur handgeführten Kieferrelationsbestimmung <i>Kontraindikationen</i>, die auf der prinzipiellen Systematik beruhen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausgedehnte Schlotterkämme, die ein ungleichmäßiges Einsinken der Prothesen bei Belastung bewirken, • Defektprothesen, bei denen das Tegument von vorneherein nicht gleichmäßig belastet werden kann, • stark abweichende Prothesenschwerpunkte in Ober- und Unterkiefer, • keine stabile Lage der Prothesen (große Zunge, Proglissement u. a.), • Patienten mit mangelnder Fähigkeit zur Mitarbeit. <p>[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Literatur: [517]	

Empfehlung 20: Indikation einer handgeführten horizontalen Kieferrelationsbestimmung bei Totalprothesen (neu in 2022)	
<p>Sollten Dislokationen der Prothesen, wie sie oben aufgeführt sind, 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 Unterschiede der Resilienz (z. B. Schlotterkämme) vorhanden sind oder Kieferteile fehlen. Hier sollte auf die handgeführte horizontale Kieferrelationsbestimmung zurückgegriffen werden.</p> <p>[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Literatur: [517]	

Computergestützte Stützstift-Registrierung

Die Aufzeichnung des Pfeilwinkels lässt sich heute auch computergestützt durchführen [1,525]. Dabei kann auch die Schließkraft während der Aufzeichnung gemessen werden. Die Möglichkeit, den Pfeilwinkel während der Entstehung der Aufzeichnung auf einem Monitor vergrößert darzustellen und damit für den Patienten zu visualisieren (Feedback), stellt ebenso einen Vorteil dar, wie die aufgewendete Kieferschließkraft während der Registrierung oder u. U. sogar während der Verschlüsselung zu messen und zu kontrollieren. Die für die Aufzeichnung notwendige Kieferschließkraft wird bei einigen elektronischen Verfahren zwischen 10 N und 30 N angegeben. Beim

herkömmlichen Verfahren – ohne elektronische Kontrolle – sind die Schließkräfte während der Aufzeichnung geringer und betragen meist unter 10 N [212,225,226,290,526,538].

Empfehlung 21: Festlegung abweichender Positionen bei der Pfeilwinkel-Registrierung (neu in 2022)	
Einige Systeme <i>berechnen</i> Unterkieferpositionen, die von der (analogen) Pfeilwinkelspitze sowie von der maximalen Interkuspitation und der zentrischen Kondylenposition abweichen [91,224,287,289,554,555]. Derart von einem Computersystem berechnete und nicht offengelegte Positionen sollten nicht für definitiven Zahnersatz eingesetzt werden [45,150,333]. [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Inwiefern die Höhe der aufgewendeten Kieferschließkraft das Ergebnis der Stützstift-Registrierung negativ beeinflusst, wird kontrovers diskutiert [91,213,225,226,239,407]. Auch ist nicht belegt, ob eine abweichende Positionierung des Unterkiefers – weg von der Pfeilwinkelspitze – mit der späteren Akzeptanz der Patienten mit den Prothesen in Beziehung steht. Im Behandlungsergebnis unterscheiden sich die herkömmliche und computergestützte Stützstift-Registrierung nicht, wenn auf der Pfeilwinkelspitze verschlüsselt wird.

Praktische Hinweise zur Fehlervermeidung

Empfehlung 22: Stützstift-Aufzeichnung bei Teilbezahnten (neu in 2022)	
Stützstift- und Aufzeichnungsplatten sollten bei der Registrierung zentral belastet und schaukelfrei sein. Um eine Dislokation der Stützstiftplatten während der Verschlüsselung zu vermeiden, sollten Stützstift- und Aufzeichnungsplatte in der zentrischen Kondylenposition bestmöglich unterstützt sein. [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Wegen der Gefahr des Verschluckens von Teilen des Registrierbesteckes wird empfohlen, die Festlegung der Unterkieferposition beim sitzenden Patienten durchzuführen, was auch präzisere Resultate ermöglicht [1]. Angesichts des Aufwands der Herstellung der Stützstiftplatten ist dies bei Patienten einfacher umzusetzen, die entweder vollbezahnt, mit einer komplett abnehmbaren Restauration versorgt oder ganz zahnlos sind. Die Aufzeichnung ist somit bei teilbezahnten Patienten je nach Verteilung der restlichen Zähne u. U. nicht zielführend.

Empfehlung 23: Stützstift-Aufzeichnung bei Totalprothesenträgern (neu in 2022)	
Bei Unbezahnten sollte der Stützstift so angebracht werden, dass die Registrierschablonen oder Prothesen "im Zentrum" gleichmäßig belastet werden und sich bei Kieferschluss nicht auf dem Tegument verschieben (bei Belastung also weitgehend auch gleichmäßig in das Tegument einsinken). [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung].	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Ziel ist, dass das Tegument unter den Prothesen sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer in zentrischer Kondylenposition gleichmäßig belastet wird. In dieser Situation ist der Unterkiefer durch die beiden Kondylen und den Stützstift abgestützt, die "Dreibein-Abstützung" gegenüber der Schädelbasis ist erreicht (rechter sowie linker Kondylus und Stützstift) [138]. Es ist wichtig, den zentralen Stützstift in der Höhe so einzustellen, dass in zentrischer Kondylenposition eine nur minimale Erhöhung der Vertikaldimension zwischen den Zähnen rechts und links erreicht wird, was mit einer Okklusionsfolie kontrolliert werden muss (kein antagonistischer Kontakt).

Empfehlung 24: Vertikale Sperrung während der Stützstift-Aufzeichnung (neu in 2022)	
Die Aufzeichnung der Grenzbewegungen in vollem Ausmaß wäre – vor allem bei bezahnten Patienten – in der Regel mit einer zu großen Erhöhung der Vertikaldimension verbunden. Daher sollte ein Pfeilwinkel nicht mit maximalen Exkursionsbewegungen aufgezeichnet werden; es genügt eine interokklusal interferenzfreie Aufzeichnungsweite von ca. 2 bis 3 mm (aber auch nicht weniger). [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Empfehlung 25: Anweisungen an den Patienten während einer Stützstift-Aufzeichnung (neu in 2022)	
Die Aufzeichnung des Pfeilwinkels sollte durch klare Anweisungen an den Patienten erfolgen, bei gleichzeitig <i>leichter</i> Führung des Unterkiefers nach dorsal (eine straffe Führung hätte eine reaktive und protrusiv gerichtete muskuläre Reaktion des Patienten zur Folge). Ein Beispiel wäre folgender Ablauf: Unterkiefer vor → Unterkiefer zurück → Unterkiefer nach links → wieder zurück → Unterkiefer vor → Unterkiefer zurück → Unterkiefer nach rechts → wieder zurück.	Starker Konsens

<p>Dieses Vorgehen sollte mehrfach im Vorfeld geübt und bei der Aufzeichnung wiederholt ausgeführt werden, bis oder der Patient ein Gefühl für die erforderlichen Bewegungen bekommt.</p> <p>[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	
Expertenkonsens	

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

1. Die Instruktion an den Patienten lautet bei leichter manueller Führung des Unterkiefers durch die Zahnärztin / den Zahnarzt: "Bitte schließen Sie den Kiefer. Bewegen Sie den Unterkiefer jetzt "hinten" mehrfach nach links und rechts". Es ist zu erwägen, diese Instruktion mit obigen Anweisungen zu kombinieren.
2. Sofern diese Instruktion erfolglos ist, wird der Unterkiefer bei eingesetzten Stützstiftplatten mit der handgeführten horizontalen Kieferrelationsbestimmung positioniert.

Empfehlung 26: Registratmaterial bei einer Stützstift-Registrierung (neu in 2022)	
<p>Das Registratmaterial zum Verschlüsseln soll nach dem Abbinden möglichst starr sein, sodass bei der Modellmontage eine sichere und eindeutige Fixierung der Modelle zueinander gewährleistet ist.</p> <p>[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens	

6.2.5 Zusammenfassung

Empfehlung 27: Vorgehen vor der Präparation (neu in 2022)	
<p>Bei funktionsgesunden Patienten, die bei natürlicher Bezahnung in maximaler Interkuspitation gut abgestützt sind, sollte diese Unterkieferposition in der Regel übernommen werden.</p> <p>Wird bei Patienten mit bestehender, guter maximaler Interkuspitation ein die Okklusion tragender Zahn präpariert, nach dessen Präparation die Abstützung absehbar aufgehoben wird, sollte die Relation <u>vor</u> der Präparation durch entsprechende Maßnahmen gesichert werden.</p> <p>[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens

Expertenkonsens

Empfehlung 28: Auswahl der geeigneten Kieferrelation (neu in 2022)

Wenn zu wenige interokklusal abstützende Zähne vorhanden sind, eine sekundäre Unterkieferverlagerung vorliegt oder der Kauflächenkomplex insgesamt restauriert werden muss, **sollte** die vorliegende habituelle Okklusion in die restaurative Behandlung *nicht* übernommen werden. In diesen Fällen hat sich die zentrische Kondylenposition, die dann zur zentrischen Okklusion wird, als Referenzlage bewährt.

[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 1 Enthaltung]

Starker Konsens

Expertenkonsens

Empfehlung 29: Kritische Prüfung der bestehenden Kieferrelation bei Indikation zur Herstellung neuer Totalprothesen (neu in 2022)

Besteht bei funktionsgesunden *unbezahnten* Patienten die Indikation zur Herstellung neuer Prothesen, so **sollte** die Zahnärztin / der Zahnarzt die Zahnstellungen wie auch die vertikale und horizontale Kieferrelation des bisher getragenen Zahnersatzes, einer kritischen Kontrolle unterziehen und ggf. verändern.

Handelt es sich um Patienten, die bereits lange Totalprothesen getragen haben, ist davon auszugehen, dass sich neben der vertikalen auch die horizontale Relation durch Einlagerung der Prothesen in die Schleimhaut, Resorption der Kieferknochen und Abrasion der Ersatzzähne im Laufe der Tragezeit verändert hat. Somit ist es sinnvoll und meist unumgänglich, die Kieferrelation nicht nur in vertikaler, sondern auch in horizontaler Dimension insgesamt neu einzustellen. Für die anzustrebende horizontale Lage hat sich dabei die zentrische Kondylenposition bewährt.

[9 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]

Starker Konsens

Literatur: [143,144,170,234]

7 Teil 4: Gesichtsbogen

7.1 Definition

Die Anwendung eines Gesichtsbogens erfolgt mit der Absicht, die anatomische Übertragung der geometrischen Abstände zwischen den Kauflächen der Zähne und der (zentrischen) Scharnierachse des Unterkiefers als gelenknahe Bezugsgröße vom Patienten auf den Artikulator/Bewegungssimulator zu individualisieren. Dabei wird mit dem Gesichtsbogen die Zuordnung der Zahnreihen des realen oder digitalen Kiefermodells zur Scharnierachse des Artikulators/ Bewegungssimulators vorgenommen (schädel- und gelenkbezogene Modellorientierung). Der Gesichtsbogen dient somit der *Individualisierung des Bonwill'schen Dreiecks* [50,51], das als gleichseitiges Dreieck zwischen dem unteren Inzisalpunkt und beiden Kondylen mit einer Seitenlänge von mittelwertig 100 bis 110 mm angegeben wird. Liegen zur Modellorientierung keine individuellen Daten aus der Gesichtsbogen-Anwendung vor, empfiehlt es sich, die mittelwertigen Angaben des Bonwill-Dreiecks anzuwenden.

Mit der Ausrichtung des Gesichtsbogens auf die zentrische Scharnierachse des Unterkiefers, d. h. auf die rechten und linken Scharnierachsenpunkte auf der Haut im Kiefergelenkbereich, wird auf die zentrische Kondylenposition Bezug genommen, aus der heraus bei externer Führung Kieferöffnungsbewegungen im Ausmaß von bis zu 15 bis 20 mm Vertikaldistanz (gemessen im Inzisalbereich) mit mehr oder weniger ausschließlichem Rotationsanteil ausgeführt werden können [252,362,494,497,499]. Die Rotation um die transversale Achse entspricht der zentrischen Scharnierachse (s. a. 5.2 und 6.2), die mittelwertig festgelegt oder individuell bestimmt werden kann.

Die Anwendung des Gesichtsbogens bietet somit die Möglichkeit, die räumliche Beziehung zwischen Scharnierachse und Zahnreihen des Patienten auf einen geeigneten Artikulator/ Bewegungssimulator zu übertragen und die geführte Kieferöffnung des Patienten mit guter Annäherung an die individuellen Gegebenheiten im Artikulator/ Bewegungssimulator nachzuvollziehen ("zu simulieren"). Damit können im Artikulator/ Bewegungssimulator geringfügige Veränderungen der vertikalen Kieferrelation ("Bisshebungen oder Bissenkungen") in zentrischer Kondylenposition ausgeführt werden, ohne dass sich dadurch später beim Patienten die intermaxilläre Relation verschiebt; es wird also trotz Veränderung der vertikalen Kieferrelation kein neues Registrat benötigt (dies gilt streng genommen nur, wenn die zentrische Kondylenposition bei Patienten als Referenzlage des Unterkiefers gewählt wurde).

7.2 Ziele

Durch die Gesichtsbogen vermittelte Positionierung der Modelle im Artikulator/ Bewegungssimulator ist beabsichtigt, - im Gegensatz zur Festlegung der Modellposition auf Mittelwerte (sog. Mittelwert-/ arbiträre Montage) - eine Minimierung okklusaler Fehler bei der Gestaltung statischer und dynamischer Okklusionskontakte im Rahmen der laborseitigen Herstellung von Restaurationen zu erreichen. Bei der Eingliederung der Restaurationen wird von folgenden Vorteilen des Vorgehens ausgegangen:

- geringeres Ausmaß okklusaler Anpassungsmaßnahmen,
- dadurch weitgehende Erhaltung des durch Zahntechniker gestalteten funktionellen okklusalen Reliefs,
- geringere "Gefährdung" der einzugliedernden Restaurationen bei Einschleifarbeiten,
- insgesamt Reduktion des zeitlichen Arbeitsaufwandes.

Im Rahmen der instrumentellen Okklusionsanalyse wird ferner davon ausgegangen, dass durch Anwendung eines Gesichtsbogens eine verbesserte Simulation der individuellen statischen und dynamischen Okklusionskontakte im Artikulator/ Bewegungssimulator ermöglicht wird.

7.3 Methodik

Im Allgemeinen ist in der zahnärztlichen Praxis eine schädel- und gelenkbezogene Übertragung der Oberkiefer-Zahnreihen in den Artikulator verbreitet, wohingegen bei Anwendung der Methode nach Albert Gerber (Zürich) die Übertragung Unterkiefer bezogen erfolgt [136], d. h., es wird zunächst das Unterkiefermodell im Artikulator montiert. Je nach verwendetem Artikulatorsystem erfolgt die Ausrichtung des Bogens nach der *Frankfurter Horizontalen* oder der *Camper'schen Ebene*. Entsprechend der gewählten Bezugsebene ergeben sich dadurch für die sagittale Kondylenbahnneigung unterschiedliche Werte.

Zur Übertragung der Kiefermodelle werden drei Referenzpunkte benötigt:

Die beiden posterioren Referenzpunkte, die sich auf die so genannte zentrische Scharnierachse beziehen, können auf zwei Arten bestimmt werden:

- a) arbiträr anhand von Mittelwerten (mittelwertige Technik, Anwendung u. a. bei Palpation und den so genannten "Ohrbögen") oder
- b) individuell lokalisiert nach kinematischer Bestimmung der Rotationsachse des Unterkiefers bei gering bis mäßig ausgeprägten (leicht geführten) Öffnungsbewegungen.

Die Lokalisation des anterioren (dritten) Referenzpunktes wird unterschiedlich festgelegt: So wird teilweise auf den tastbaren knöchernen (rechten oder linken) unteren Rand der Orbita Bezug genommen oder es wird ein festgelegter Abstand kranial der Schneidekanten der Zähne 12 oder 22 abgemessen und im Bereich der Nasen-Wangen-Grenze auf der Haut markiert [54,55,119,155,292,348,371,383,469,519,532,543].

Beim klassischen Vorgehen zum Anlegen eines Gesichtsbogens wird eine Übertragungsplatte (auch "Bissgabel" genannt) z. B. mit Wachs, thermoplastischer Masse oder Silikon an den Kauflächen der Zähne eines Kiefers (i. d. R. des Oberkiefers) adaptiert. Bei schädelbezogenen Systemen wird die Übertragungsplatte manuell oder zum Teil auch durch Kieferschluss fixiert. Der Gesichtsbogen selbst wird auf die mittelwertigen oder individuellen zentrischen Scharnierachsenpunkte des Patienten sowie auf den anterioren Referenzpunkt ausgerichtet und anschließend der Gesichtsbogen mit der Übertragungsplatte mechanisch verbunden. Bei auf den Unterkiefer bezogenen Systemen wird die Übertragungsplatte durch Kieferschluss in Position gehalten (beim *Gerber-System* mittels zentralem

Stützzstift), der Bogen wird aufgesteckt und auf die zentrische Scharnierachse ausgerichtet. Danach erfolgt bei beiden Methoden die Übertragung der räumlichen, schädel- und gelenkbezogenen Relation der Zahnreihe anhand des Kiefermodells in den jeweils ausgewählten Artikulator/ Bewegungssimulator.

7.4 Nutzen

7.4.1 Gesichtsbögen in herkömmlicher Anwendung

In der 2010 veröffentlichten wissenschaftlichen Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien (DGPro) zur Anwendung des Gesichtsbogens beim funktionsgesunden Patienten im Rahmen restaurativer Maßnahmen wurde die Frage nach den Belegen für den klinischen Nutzen des Gesichtsbogens gestellt [327], wobei die Sinnhaftigkeit der Anwendung bereits vorher von einigen Autoren thematisiert und kritisch diskutiert worden war [67,68,73,200,429,536]. Dazu wurde zum einen eine Literaturrecherche zur Anwendung des Gesichtsbogens in randomisierten klinischen Studien durchgeführt; zum anderen wurde eine Suche nach Untersuchungen vorgenommen, die anhand von experimentellen Labormessungen bzw. mit Hilfe mathematisch-geometrischer Modellrechnungen die Auswirkungen funktioneller Determinanten, die bei der Gesichtsbogenanwendung Einfluss nehmen, im Okklusalebereich darstellten bzw. berechneten.

Für den Bereich der randomisierten klinischen Studien ließen die identifizierbaren Publikationen [96,103,177,178,236,270,332,423,429] keine allgemeinen Aussagen zum Wert der Gesichtsbogenanwendung zu. Dies lag an der Fokussierung auf die Herstellung von Totalprothesen bzw. Okklusionsschienen, an den im Einzelnen gewählten methodischen Vorgehensweisen und auch bedingt durch unvollständige Angaben zum jeweiligen Studienaufbau [327].

Eine Reihe identifizierter Studien, die Modellrechnungen auf der Basis klinischer Daten vollzogen, ließen eine Abschätzung zu, welche Faktoren sich bei verschiedenen Verfahren der Modellübertragung in den Artikulator/ Bewegungssimulator auf die Okklusion auswirken und in welcher Größenordnung okklusale "Fehler" erwartet werden können [10,145,191,328,329,357,370,387,403,419,420]. Zwei verschiedene Fehler müssen dabei unterschieden werden. Zum einen gibt es Fehler bei der statischen Okklusion, die nach der Kieferrelationsbestimmung in zentrischer Kondylenposition auf Grund einer Änderung der Vertikalrelation im Artikulator hervorgerufen werden. Zum anderen treten okklusale Fehler bei der dynamischen Okklusion auf. Sie entstehen durch unterschiedliche Bewegungsparameter des Unterkiefers zwischen Patient und Artikulator, wobei das horizontale Okklusionsniveau beibehalten wird [327].

Effekte auf die statische Okklusion: Bei der Änderung der vertikalen Kieferrelation im Artikulator/ Bewegungssimulator treten sowohl bei Verwendung arbiträrer Scharnierachsenpunkte als auch bei der mittelwertigen Modellübertragung (nach Bonwill-Dreieck und Balkwill-Winkel) okklusale Fehler im Vergleich zur Verwendung individueller Achsenpunkte auf. Die Fehler sind stark vom Umfang der vertikalen Relationsänderung abhängig und sind bei der mittelwertigen Modellübertragung größer als bei der Verwendung der arbiträren Achsenpunkte. Maßgeblichen Einfluss auf die Größe der okklusalen

Fehler hat bei der mittelwertigen Modellübertragung der verwendete Balkwill-Winkel, der die Neigung zwischen Okklusionsebene und Bonwill-Dreieck am Inzispunkt beschreibt. Ist nach der Kieferrelationsbestimmung eine vertikale Relationsänderung im Artikulator/ Bewegungssimulator erforderlich, so führt die Verwendung von Gesichtsbögen mit arbiträren Scharnierachsenpunkten im Vergleich zur mittelwertigen Modellmontage zu einer klinisch relevanten Reduktion der Fehler im Bereich der statischen Okklusion [328]. Wird eine vertikale Relationsänderung im Artikulator/ Bewegungssimulator von 4 mm durchgeführt [329], beträgt nach statistischen Berechnungen der okklusale Fehler mit einer Wahrscheinlichkeit von 10% am zweiten Molar bei einer arbiträren Scharnierachsenbestimmung 700 µm oder mehr. Eine mittelwertige Modellmontage ohne Gesichtsbogen führt in Abhängigkeit vom verwendeten Balkwill-Winkel mit einer Wahrscheinlichkeit von 10% dagegen zu Fehlern von mindestens 920 µm und mehr (Balkwill-Winkel 17°), bei einem Balkwill-Winkel von 25° bis zu 2,37 mm und mehr. Diese Fehlergröße ist in Relation zu den möglichen Genauigkeiten bei der Zuordnung des Unterkiefers zum Oberkiefer während einer Registrierung zu sehen.

Effekte auf die dynamische Okklusion: Bei der Berechnung der Effekte der Gesichtsbogenübertragung auf die *dynamischen Okklusionskontakte* zeigt sich, dass die okklusalen Fehler nicht allein von der Verwendung des Gesichtsbogens zur Übertragung der Kiefermodelle abhängig sind. Andere Parameter wie der Bennett-Winkel, der sagittale Kondylenbahn-Neigungswinkel, der Interkondylarabstand, der Frontzahn (Inzisalbahn)-Führungswinkel und der Ort der Kauflächenbetrachtung haben teilweise einen größeren Einfluss [328]. Sieht man einen okklusalen Fehler von bis zu 200 µm als kaum vermeidbare und zu tolerierende Grenze an, so wird am zweiten Molaren bei der Verwendung von Mittelwerten diese Schwelle bei zahngeführten Seitwärtsbewegungen auf der Arbeitsseite mit einer Wahrscheinlichkeit von 14% und auf der Balanceseite mit einer Wahrscheinlichkeit von 11% überschritten. Die individuelle Berücksichtigung der Kondylenbahnneigung reduziert diese Werte auf 11% bzw. 9%. Eine Übertragung der Modelle in den Artikulator/ Bewegungssimulator mittels Gesichtsbogen würde zu einer Reduktion der Wahrscheinlichkeit auf der Arbeitsseite auf 5% und einen Anstieg auf der Balanceseite auf 11% führen. Die individuelle Einstellung des Bennett-Winkels reduziert die Wahrscheinlichkeit zur Überschreitung der 200 µm-Grenze noch weiter auf 7% auf der Arbeitsseite und 2% auf der Balanceseite. Die Anwendung des Gesichtsbogens allein würde also die okklusalen Fehler nur marginal reduzieren. Daher erscheint es mit Zielrichtung auf die dynamischen Okklusionskontakte sinnvoll, entweder die individuellen Werte aller wichtigen dynamischen Funktionsparameter zu bestimmen oder anderenfalls auch auf die Gesichtsbogenanwendung zu verzichten und den Fehler gegebenenfalls auf der Okklusalfäche im Mund zu korrigieren [328].

Im April 2021 wurde eine Aktualisierung zum Stand der Literatur in Sachen Anwendung des Gesichtsbogens vorgenommen. Bezogen auf die Gesichtsbogen-Anwendung in randomisierten klinischen Studien ergaben sich in Ergänzung zum ermittelten Ergebnis in 2010 [327] weitere 7 Publikationen [84,92,128,237,342,451,452], die zum Bereich der prothetisch-restaurativen Zahnmedizin bzw. der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik/ Funktionstherapie gezählt werden konnten. Eine weitere Studie beschäftigte sich mit der Reproduzierbarkeit der Modellmontage mit und ohne Gesichtsbogenanwendung [16]. Zusätzlich konnten 6 systematische Übersichtsarbeiten zum klinischen Einsatz des Gesichtsbogens ermitteln werden [69,110,240,269,458,551].

Die neu hinzu gekommenen Publikationen zu randomisierten klinischen Studien fokussierten sich weiterhin auf die Anwendung im Rahmen der Herstellung von Totalprothesen und ihre Eingliederung [84,92,237,342,451,452] sowie auf die Fertigung von Okklusionsschienen [128]. Hinsichtlich klinischer Okklusionskontakte und Patientenzufriedenheit ergaben sich keine substantiellen Unterschiede mit und ohne Einsatz von Gesichtsbögen. In der klinischen Simulation ergab jedoch demgegenüber der Einsatz des Gesichtsbogens eine signifikant geringere Varianz mit Blick auf die Modellpositionierung im Artikulator als ein mittelwertiges Vorgehen [16].

Die Anwendung des Gesichtsbogens bei zahnlosen Patienten erscheint nicht dazu geeignet, den Sinn des Einsatzes von Gesichtsbögen klinisch zu untersuchen, wenn sie neu mit Totalprothesen versorgt werden. Zu viele einflussnehmende Parameter gehen zusätzlich ein, an die sich die Patienten neben der Okklusion gewöhnen müssen (Sitz der Basen, Lage der Zahnreihen in der neutralen Zone, vertikale und horizontale Kieferrelation, ästhetische Parameter u. a.). Zieht man demgegenüber klinische Studien mit Okklusionsschienen zur Beurteilung der "Wirksamkeit" der Gesichtsbogenanwendung heran, so wird in diesen Fällen die vertikale Relation kaum verändert: Die vertikale Höhe der Okklusionsschiene wird der vertikalen Höhe des zentrischen Registers in etwa entsprechen.

7.4.2 Gesichtsbögen mit Priorität ästhetischer Parameter

Übliche Gesichtsbögen werden auf die mittelwertigen oder individuellen zentrischen Scharnierachsen und damit nach funktionellen Kriterien ausgerichtet. Das kann bei Gesichts-Asymmetrien zu einer Lage der Okklusionsebene und damit auch der Inzisalkantenlinien führen, die am Patienten weder parallel der Bipupillarlinie noch im Artikulator parallel zur Tischebene verläuft. Das erschwert den Zahntechnikern die Konstruktion einer z. B. nach ästhetischen Kriterien verlaufenden Oberkiefer-Inzisalkantenlinie erheblich.

Bereits vor vielen Jahren wurden daher Gesichtsbögen entwickelt [34,417], die nicht mehr die funktionelle Übertragung der zentrischen Scharnierachsen im Fokus hatten, sondern deren Schwerpunkt die Montage der Modelle z. B. u. a. nach der Bipupillarebene und damit nach primär ästhetischen Kriterien ist (s. a. [35,359,360,416]). Zwangsläufig weichen die durch ästhetisch fokussierte Bögen übertragenen Scharnierachsen mehr oder weniger deutlich von den tatsächlichen funktionellen Scharnierachsen ab. Studien zu der Größe der Abweichungen und deren Auswirkungen an einer größeren Stichprobe sind uns nicht bekannt, es liegt uns nur eine Abschätzung mit abweichendem Schwerpunkt vor [453]. Aus theoretischen Überlegungen ist jedoch davon auszugehen, dass bei stärker ausgeprägten Asymmetrien mit deutlichen Fehlern der übertragenen Scharnierachsenpunkte von der Realität auszugehen ist.

7.4.3 Gesichtsbögen bei digitalen Verfahren

Mit dem Aufkommen digitaler Verfahrenstechnologien in der Zahntechnik hat jedoch das Prinzip des Gesichtsbogens als Methode der individuellen schädel- und gelenkbezüglichen Orientierung der Zahnreihen (Kiefermodelle) eine neue Bedeutung zur Referenzierung von Daten erlangt: Durch Anwendung des "digitalen Gesichtsbogens" wird erst die systemgerechte Kopplung unterschiedlicher

anatomischer "Struktur"-Daten (in Form von Intraoralscans der Zahnreihen und Face-Scans) und auf Unterkieferbewegungen und -positionen basierender "Funktions"-Daten möglich (anhand elektronischer Bewegungsaufzeichnungen [260,262,273,284,372,440]).

Im Gegensatz zur analogen Version des Gesichtsbogens als U-förmiger Metall- oder Kunststoffbogen mit mechanischer Gelenkvorrichtung und Verbindung zu einer intraoral zu positionierenden Übertragungsplatte benötigt die digitale Version lediglich mit Messsensoren/ Messvorrichtungen versehene und auf Zahnreihen zu platzierende Transferplatten (wie Kopplungslöffel) sowie die räumliche Detektion von Referenzpunkten. Mit der Realisierung des digitalen Workflows in der prothetisch-restaurativen Zahnmedizin hat das Prinzip des Gesichtsbogens eine grundlegende und wichtige Bedeutung zur Referenzierung digitaler Daten bekommen, wobei sich spezifisch restaurative wie auch funktionsanalytische Einsatzgebiete mit dem virtuellen Artikulator bzw. der digitalen Okklusionsanalyse ergeben.

7.5 Zusammenfassung

Statement 22: Indikation zur Anwendung des analogen Gesichtsbogens (neu in 2022)	
Im Rahmen rekonstruktiver oder funktionsanalytischer Maßnahmen kann der Einsatz eines Gesichtsbogens vor allem dann einen qualitätsverbessernden/qualitätssichernden Effekt haben, wenn er <i>als Teil einer Prozesskette</i> angesehen wird, bei der alle Arbeitsschritte mit großem Einfluss auf okklusale Fehler (insbesondere bei der <i>Kieferrelationsbestimmung</i>) mit hohem Qualitätsbewusstsein ausgeführt werden sollen. Die <i>alleinige</i> Anwendung eines (analogen) Gesichtsbogens ist kein ausreichender Qualitätsindikator. [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Statement 23: Indikation zur Anwendung des digitalen Gesichtsbogens (neu in 2022)	
Im Kontext des digitalen Workflows in Zahnmedizin und Zahntechnik spielt das Prinzip des Gesichtsbogens (Individualisierung der Modellorientierung) eine wichtige grundlegende Rolle zur Referenzierung und systemgerechten Verknüpfung (Kopplung) personenbezogener digitaler "Struktur"-Daten (aus Intraoralscans, Face-Scans u. ä.) mit "Funktions"-Daten (aus Aufzeichnungen von Unterkieferbewegungen). [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Statement 24: Bedeutung der Gesichtsbogen-Übertragung (neu in 2022)	
<p>Durch die für viele Gesichtsbögen geltende individuelle schädel- und gelenkbezogene Übertragung des Oberkiefermodells in den Artikulator/Bewegungssimulator werden individuelle Besonderheiten (wie ausgeprägte Asymmetrien der Kiefer bzw. des Gesichtsschädels) in ästhetischer und funktioneller Hinsicht gegenüber der Heranziehung von Mittelwerten (wie der Bezug auf das Bonwill-Dreieck) bei der Planung von Rekonstruktionen frühzeitig erfasst und bei der Erstellung von Restaurationen berücksichtigt werden.</p> <p>[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Empfehlung 30: Indikation einer mittelwertigen Modellübertragung (neu in 2022)	
<p>Wird eine <i>stabile habituelle Okklusion/maximale Interkuspidation</i> bei der Kieferrelationsbestimmung <i>ohne</i> Änderung der vertikalen Kieferrelation herangezogen <i>und</i> liegen gleichzeitig eine Eckzahnführung bzw. ein moderater Neigungswinkel zentraler Höckerabhänge vor, so kann die mittelwertige Modellübertragung in den Artikulator/Bewegungssimulator ohne Gesichtsbogen als ausreichende Vorgehensweise angesehen werden.</p> <p>[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Empfehlung 31: Indikation des Gesichtsbogens bei Anhebung der vertikalen Relation (neu in 2022)	
<p>Ist nach der Kieferrelationsbestimmung <i>in zentrischer Kondylenposition</i> eine vertikale Relationsänderung im Artikulator/Bewegungssimulator erforderlich, so sollte die Verwendung von Gesichtsbögen mit arbiträren oder individuell bestimmten Scharnierachsenpunkten erfolgen, um Fehler im Bereich der statischen Okklusion zu reduzieren. Die Größe der okklusalen Fehler hängt dabei wesentlich vom Ausmaß der Veränderung der vertikalen Kieferrelation ab.</p> <p>[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 1 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Empfehlung 32: Indikation des Gesichtsbogens bei besonderen Verzahnungen (neu in 2022)	
<p>Um Fehler im <i>Bereich dynamischer Okklusionskontakte</i> – beispielsweise im Kontext der restaurativen Umsetzung von Gruppenführung <i>oder</i> bei einer Kopf-, Kreuz- oder offenen Biss-Ausgangssituation – zu reduzieren, sollte die Anwendung des Gesichtsbogens zusammen mit der Bestimmung weiterer Funktionsparameter der Unterkieferbewegung (wie sagittaler Kondylenbahn-Neigungswinkel und Bennett-Winkel) erfolgen.</p> <p>[12 Zustimmung / 0 Ablehnung / 1 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens	

Sofern nach klinisch erfolgter Kieferrelationsbestimmung (in zentrischer Kondylenposition) eine vertikale Relationsänderung im Artikulator/Bewegungssimulator erforderlich ist, führt die Verwendung *arbiträrer* Scharnierachsenpunkte, die bei den so genannten Ohrbögen Berücksichtigung finden, im Vergleich zur mittelwertigen Modellmontage zu einer klinisch relevanten Reduktion der Fehler im Bereich der statischen Okklusion; die möglichen okklusalen Fehler sind deutlich vom Umfang der vertikalen Relationsänderung abhängig. Werden *individuell* bestimmte Scharnierachsenpunkte in den Vergleich einbezogen, ergeben sich nach Modellberechnungen auf der Basis klinischer Daten größere okklusale Fehler für die mittelwertige Modellmontage als bei Anwendung arbiträrer Achsenpunkte; das Optimum wäre in diesem Kontext bei der Verwendung individueller Achsenpunkte anzusehen.

8 Teil 5: Oberflächen-Elektromyographie der Kaumuskulatur in der zahnärztlichen Anwendung

8.1 Definition und Entwicklung

8.1.1 Definition

Die Methode zur Ableitung bioelektrischer Signale der Muskulatur wird als Elektromyographie (EMG) bezeichnet. Die Aufnahme der Signale kann mittels auf der Haut angebrachter Oberflächenelektroden oder unter Verwendung von Nadel- oder Drahtelektroden, die direkt in den Muskel eingestochen werden, durchgeführt werden. Die Ableitung der Signale erfolgt für gewöhnlich in uni- oder bipolarer Form [411].

Der Muskel besteht aus motorischen Einheiten (MU) mit zahlreichen Einzelfasern, die zeitgleich aktiviert werden, aber nicht den gleichen Abstand zur Ableitstelle haben. Die Signale einer motorischen Einheit werden somit mit geringen Laufzeitunterschieden registriert und interferieren zum Aktionspotenzial der MU. Die elektrische Aktivität des Bereichs der Muskulatur, der näher an den Ableitelektroden liegt, liefert zudem den größten Beitrag zur registrierten Potenzialdifferenz. Jede Muskelkontraktion ist durch die Aktivierung vieler motorischer Einheiten gekennzeichnet, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten und mit verschiedenen Frequenzen erregt werden können. Ferner lassen die motorischen Einheiten eine komplexe räumliche Verteilung im Gesamtmuskel erkennen, die in der Kaumuskulatur auf sehr kleine Areale reduziert ist. Damit verläuft die Erregungsausbreitung in den einzelnen Muskelregionen nicht synchron und erzeugt in der elektrischen Ableitung sog. Interferenzmuster. Die dabei entwickelte elektrische Aktivität ist direkt proportional zur Zahl der aktivierten Fasern. Das summarische Elektromyogramm gestattet somit die Beurteilung der Innervation von motorischen Einheiten und Muskelgruppen, da die Stärke der Muskelkontraktion von der Zahl der innervierten Muskelfasern und der Anzahl der Aktionspotenziale pro Zeiteinheit abhängt. Die aufgezeichneten Aktionspotenziale spiegeln die neuromuskuläre Erregung der untersuchten Muskulatur wider und sind ein indirektes Maß für die mechanische Aktivität des Muskels [194].

Grundsätzlich liefert die Elektromyographie Informationen über den peripheren Erregungszustand von Muskeln. Sie registriert auch zeitabhängige intra- oder intermuskuläre Aktivierungsmuster und gibt somit Hinweis auf die zugrunde liegenden zentralen Kontrollmechanismen [123].

Das mit Hilfe *bipolarer Oberflächenelektroden* gemessene Elektromyogramm ist die am häufigsten angewandte Technik der Elektromyographie, da sie schnell und atraumatisch angewendet werden kann und zuverlässige und weitgehend reproduzierbare Ergebnisse liefert. Bei Ableitungen der 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.

8.1.2 Historische Entwicklung

Der Grundstein der Elektromyographie wurde im Jahr 1791 von Galvani gelegt [127]. Er entdeckte an Nerv-Muskel Präparaten, dass sich isolierte Skelettmuskeln durch elektrische Stimulation zur Kontraktion bringen lassen. Erste Berichte über Ableitungen, das Verstärken und Aufzeichnen von Muskelaktionspotenzialen am Menschen werden Du Bois-Reymond (1848) zugeschrieben [97]. Die ersten systematisch einsetzbaren Oberflächenelektroden wurden von Piper (1912) entwickelt [358]. Die erste erfolgreiche Anwendung der Elektromyographie im Kopfbereich wurde von Moyers (1950) beschrieben [330]. Eschler (1952) und andere erkannten schon bald darauf die Bedeutung der Elektromyographie für die Zahnheilkunde [108].

Bis heute wird die Elektromyographie vielfältig in der experimentellen und klinischen Grundlagenforschung eingesetzt [95,114,310]. Unterschiede in den elektromyographischen Aufzeichnungen zwischen untersuchten Probanden sind dabei häufig festzustellen [249]. Diese Unterschiede können auf physiologische, anatomische und technische Gründe zurückgeführt werden [319]. Menschen wenden verschiedene Strategien an, um identische motorische Aufgaben zu lösen, was sich zwangsläufig auch in unterschiedlichen EMG-Mustern manifestieren kann. Die Elektromyographie ist als einziges Instrument in der Lage, über die Erfassung von Summationspotenzialen quantitative Daten über die Funktion der Aktivität einzelner Muskeln zu liefern und sie für eine funktionsbezogene Analyse bereitzustellen [95,114,354].

8.2 Ziele

Im Rahmen der zahnärztlichen Tätigkeit ist die Anwendung der Oberflächen-EMG mit bipolaren Hautelektroden im Bereich des M. masseter und des M. temporalis anterior relativ unproblematisch durchführbar. Auf der Basis einer fundierten klinischen Funktionsdiagnostik unter Beachtung spezieller methodischer Empfehlungen [175,176,258] ermöglicht die Oberflächen-Elektromyographie (EMG) die zusätzliche Ermittlung valider und reliabler quantitativer Daten zum Funktionszustand einzelner Kaumuskeln im Sinne einer "neuromuskulären Funktionsanalyse" [194]. Aussagekräftige EMG-Daten können im Zusammenhang mit den Parametern Ruheaktivität, maximale Muskelaktivierung, Frequenzspektrum bei anhaltender Belastung und Symmetrie des Kontraktionsverhaltens beider Kieferseiten gewonnen werden [201,202].

8.3 Nutzen

8.3.1 EMG in der zahnärztlichen Prothetik

Bei der Beurteilung der funktionellen Wertigkeit rekonstruktiver Maßnahmen werden klassischerweise die technische Ausführung und die Zufriedenheit des Patienten herangezogen. Die Einbeziehung der EMG liefert hierbei zusätzlich ergänzende Informationen, die die neuromuskuläre Reaktionsweise berücksichtigen. Der Einsatz von EMG-Ableitungen im klinischen Alltag kann dementsprechend so erfolgen, dass beispielsweise vor dem Hintergrund des neuromuskulären Balanceverhaltens in statischer Okklusion Befunde vor und nach rekonstruktiver Versorgung oder bei

der Korrektur der Okklusion nach Inkorporation von Zahnersatz beurteilt werden. Studien geben Hinweise darauf, dass sich Symmetrieunterschiede im Rekrutierungsverhalten der Muskulatur, ausgelöst durch okklusale Niveauunterschiede, am individuellen Patienten darstellen lassen [203,204].

8.3.2 EMG in der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik und Funktionstherapie

Statement 25: Einschränkungen der Oberflächen-Elektromyographie (neu in 2022)	
Das neuromuskuläre System reagiert mit reproduzierbaren, elektromyographisch erfassbaren Veränderungen auf Schmerzen. Die Oberflächen-Elektromyographie ist aber <i>kein</i> direktes Verfahren zur Objektivierung von Schmerzen. [13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]	Starker Konsens
Literatur: [202]	

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 [201,202].

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

Statement 26: Konsequenzen aus EMG-Ableitungen (geprüft + unverändert übernommen)	
<p>Aus EMG-Ableitungen sind folgende ergänzende Informationen ableitbar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Erschöpfbarkeit als Indikator für das Ausmaß der individuellen Muskelläsion • Minderung der Kontraktionsfähigkeit als Indikator für das Ausmaß der individuellen Muskelläsion • Erhöhte Ruheaktivität als Hinweis auf Kiefergelenkläsionen, klinisch nicht manifeste Muskelläsionen, Stressfaktoren oder hypervigilante Disposition des Patienten • Darstellung der Veränderung des Rekrutierungsmusters der Muskulatur bei der okklusalen Modifikation von Okklusionsschienen (Veränderung der maximalen Kontraktionsfähigkeit, Veränderung des Rechts-Links-Balanceverhaltens) als Indikator für therapeutisch wirksame Effekte und zur Verlaufskontrolle. <p>[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens	

8.4 Zusammenfassung

Der Zugewinn an Informationen über das dynamische, *auf die Muskulatur bezogene Verhalten* durch die Oberflächen-Elektromyographie lässt dieses Verfahren für eine weiterführende und *auf entsprechend spezifische Fragestellungen fokussierte Funktionsanalyse* geeignet erscheinen.

Der Erkenntnisgewinn aus dieser *neuromuskulären Funktionsanalyse* kann direkt in funktionstherapeutische Maßnahmen einfließen und bei restaurativ-prothetischen Arbeiten für die okklusale Gestaltung und Anpassungen genutzt werden.

Der klinische Einsatz der Oberflächen-Elektromyographie im zahnärztlichen Bereich setzt spezifische Kenntnisse zur Methodik und Anwendung am Patienten voraus.

Empfehlung 33: Indikation der Oberflächen-Elektromyographie (modifiziert 2022)	
<p>Gewonnene Daten aus dem Einsatz der Oberflächen-Elektromyographie sollen – wie bei den kinematischen Verfahren – immer im Kontext einer vorausgegangenen eingehenden Anamnese und der klinischen Funktionsanalyse gesehen und bewertet werden.</p> <p>[13 Zustimmung / 0 Ablehnung / 0 Enthaltung]</p>	Starker Konsens
Expertenkonsens	

9 Zukünftiger Forschungsbedarf

9.1 Instrumentelle Bewegungsanalyse

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

9.2 Kondylenpositionsanalyse

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

einen analogen Artikulator, wie auch in ein virtuelles Artikulatorsystem unterstützende Studien.

9.3 Kieferrelationsbestimmung

9.3.1 Vertikale Kieferrelationsbestimmung

Es fehlen prospektive klinische Studien, die mehrere unterschiedliche Verfahren vergleichend untersuchen und die eine größere Stichprobe unter Beachtung folgender Parameter beinhalten:

- Adaptierbarkeit / Zurechtkommen
- Reproduzierbarkeit
- Aufwand
- Einflüsse der Behandler
- Kosten.

9.3.2 Horizontale Kieferrelationsbestimmung

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

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

9.4 Gesichtsbogen

- Es fehlen randomisierte und – soweit möglich – verblindete Studien (auf zahntechnischer und zahnärztlicher Seite), inwieweit bei der Anwendung von mittelwertigen oder individuellen Gesichtsbögen eine Zeiteinsparung bei der Eingliederung festsitzender oraler Rehabilitationen gegeben ist. Dabei ist es erforderlich, die Zielvariablen getrennt für die statische und dynamische Okklusion zu bewerten.

9.5 Oberflächen-Elektromyographie der Kaumuskulatur

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