

Janosch Goob, Otto Prandtner, Josef Schweiger, Jan-Frederik Güth, Daniel Edelhoff

Digital jaw relation recording to evaluate a new vertical dimension of occlusion using CAD/CAM-fabricated tooth-colored splints: a case report

Digitale Kieferrelationsbestimmung zur Evaluierung einer neuen Vertikaldimension der Okklusion durch CAD/CAM-gefertigte zahnfarbene Schienen: ein Fallbericht

Zusammenfassung

Ausgeprägte Zahnhartsubstanzdefekte können durch unterschiedliche ätiologische Faktoren ausgelöst werden und sind zumeist mit einer Veränderung in der Vertikaldimension der Okklusion verknüpft, die auch die Kondylenposition beeinflussen kann. Diese Auswirkungen, die zum irreversiblen Verlust der Zahnhartsubstanz führen, können dramatische funktionelle und ästhetische Konsequenzen für den Patienten haben und erfordern häufig komplexe Rehabilitationskonzepte. Vor diesem Hintergrund hat sich der Einsatz zahnfarbener CAD/CAM-gefertigter Okklusionsschienen aus Polycarbonat als ästhetisch-funktionell, vorteilhaftes und sicheres Vorbehandlungskonzept erwiesen. Grundvoraussetzung für eine nachhaltige und funktionelle restaurative Intervention ist es, die verlorene Zahnhartsubstanz in einer Weise wieder aufzubauen, die die Vertikaldimension und Okklusion in adäquater Kondylenposition wiederherstellt. Digitale Systeme sollen diesen komplexen Ablauf in Zukunft vereinfachen, unterstützen, individualisieren und präziser gestalten. Das hier verwendete DMD-System (Fa. Ignident GmbH, Ludwigshafen, Deutschland), liefert patientenindividuelle Bewegungsdaten zur Optimierung dieses Workflows. Mit diesem System lassen sich reale Bewegungsmuster digitalisieren und hinsichtlich ihrer Funktion und therapeutischen Konsequenz analysieren sowie in den zahnmedizinischen und zahntechnischen Workflow integrieren. Die bereits bekannte Herstellung einer zahnfarbenen CAD/CAM-Okklusionsschiene, wird im vorliegenden Fallbericht durch eine digital ermittelte zentrische Kieferrelationsbestimmung und individuelle patientenspezifische Bewegungsdaten ergänzt.

Abstract

Pronounced defects of the dental hard tissue can be caused by different etiologic factors. Most frequently, they are associated with changes in the vertical dimension of occlusion (VDO), which may also influence the condylar positions. These defects can lead to irreversible loss of tooth structure and have dramatic functional and esthetic consequences, often requiring complex rehabilitation. In this situation, CAD/CAM-fabricated occlusal splints made of tooth-colored polycarbonate are a proven and safe pretreatment approach in terms of esthetics and function. Rebuilding lost dental hard tissue to restore the occlusion and VDO to an adequate condylar position is a prerequisite for any sustainable and functional rehabilitation. In the future, digital systems will support this complex process, customizing it and making it simpler and more precise. The DMD-System (Ignident) provides patient-specific jaw movement data to optimize the CAD/CAM workflow. This system allows real movement patterns to be digitized and analyzed for functional and potential therapeutic purposes, integrating them into the dental and laboratory workflow. In the present case, the familiar tooth-colored CAD/CAM-fabricated occlusal splint is supplemented by digital centric jaw relation recording and individual movement data. (*Int J Comput Dent* 2023;26(4):347–363; doi: 10.3290/j.ijcd.b3960939)

Keywords: vertical dimension of occlusion (VDO), instrumental functional analysis, maximum intercuspation (MI), maximal intercuspation position (MIP), centric condylar position (CCP), centric relation (CR), tooth-colored occlusal splint, digital workflow

Introduction

Pathologic and physiologic tooth wear and its management are posing new challenges to dentistry¹. The causes of wear are usually multifactorial. Tooth wear due to attrition, abrasion, or erosion can result in generalized defects of the dental hard tissue^{2,3}. If these defects are left untreated, they may result in a loss of centric relation (CR), loss of vertical dimension of occlusion (VDO), shortening of the lower face, and an altered facial profile⁴. These structural changes affect, and may negatively impact, function, mastication, phonetics, and esthetics⁵. A combination of acidic damage to the teeth (exogenous or endogenous in origin) and parafunctions are considered to be the main etiologic factors⁶. Patients with pronounced tooth wear may require complex restorative intervention comprising a complete rehabilitation of the VDO¹. The VDO can be interpreted as a dynamic dimension that is subject to physiologic tolerance. It is amenable to modification, provided that important functional and esthetic parameters are respected⁷. The aim is to reconstruct a (near-)physiologic occlusion with the new VDO to stop the destructive process by implementing a sustainable customized occlusion (anterior/canine guidance)^{8,9}. Within this complex rehabilitation approach, instrumental functional analysis, recording of the centric jaw relation, and occlusal analysis are important introductory treatment steps¹⁰. Instrumental functional analysis supports quality management and records patient-specific data prior to the delivery of extensive indirect restorations¹¹. Natural, patient-specific functional parameters, implemented as part of a digital workflow for restorations produced using CAD/CAM, are an important aspect of new and flexible treatment concepts^{12,13}. In this context, interfaces between instrumental functional analysis and the CAD/CAM world create new visualization options and allow more flexible, completely model-free workflows. For occlusal and functional analysis, in particular, it is necessary to reproduce the biologic status of the stomatognathic system as closely as possible. A preprogrammed (fixed-average) articulator imitates the multifactorial jaw movements only very imperfectly¹⁴. In the case of patients with no reproducible tooth support and the need of a change in VDO, jaw relation is defined in CR to explore a new position for the mandible to develop anatomical and functional harmony¹⁵. In these patients, treatment success is co-determined by pretreatment with an occlusal splint to evaluate the newly established position and vertical height before any definitive rehabilitation takes place¹⁶. The patient should evaluate the restoration design esthetically and pho-

Indizes: Vertikaldimension der Okklusion (VDO), instrumentelle zahnärztliche Funktionsanalyse, maximale Interkuspidation (IKP), zentrische Kondylenposition (ZKP), zahnfarbene Okklusionsschiene, digitaler Workflow

Einleitung

Pathologischer und physiologischer Zahnverschleiß, sein Management und seine Therapie stellen derzeit die Zahnmedizin vor neue Herausforderungen¹. Die Ursache des Verschleißes ist in der Regel multifaktoriell und kann durch Attritionen, Abrasionen und Erosionen generalisierte Zahnhartsubstanzdefekte hervorrufen^{2,3}. Dies kann bei nicht erfolgter Therapie zu einem Verlust der zentrischen Kondylenposition (ZKP), vertikalen Dimension der Okklusion (VDO), einer Verkürzung des Untergesichts wie auch zu einer Veränderung des lateralen Gesichtspröfils führen⁴. Diese strukturellen Veränderungen haben Einfluss auf die Funktion, Mastikation, Phonetik und Ästhetik und können diese negativ beeinträchtigen⁵. Eine Kombination aus säurebedingten Zahnschäden, exogener oder endogener Herkunft, und Parafunktionen gilt dabei als ätiologische Hauptfaktor⁶. Patienten mit ausgeprägtem Zahnverschleiß benötigen möglicherweise eine komplexe restaurative Intervention, die aus einer vollständigen Rehabilitation der VDO der Okklusion besteht¹. Die VDO kann als dynamische Dimension innerhalb einer physiologischen Toleranz verstanden werden, die verändert werden kann, solange wichtige Parameter der Funktion und der Ästhetik, respektiert werden⁷. Ziel ist es eine physiologische Okklusion in neuer VDO zu rekonstruieren, um durch ein nachhaltiges individuelles Okklusionskonzept, im Sinne einer Front-Eckzahnführung, den destruktiven Prozess zu stoppen^{8,9}.

Im Rahmen dieser komplexen Rehabilitation sind die instrumentelle Funktionsanalyse, die zentrische Kieferrelationsbestimmung und die Okklusionsanalyse erste wichtige Aspekte in einer Reihe von Behandlungsschritten¹⁰. Die instrumentelle Funktionsanalyse dient dem Qualitätsmanagement und der Sicherung patientenspezifischer Daten vor umfangreichen indirekten Versorgungen¹¹. Die Implementierung natürlicher, patientenspezifischer Funktionsparameter in den digitalen Workflow von CAD/CAM (Computer Assisted Design/Computer Assisted Manufacturing)-Restorationen, kann als eine wesentliche Ergänzung für neue und flexible Behandlungskonzepte angesehen werden^{12,13}. Dabei bilden Schnittstellen zwischen der

instrumentellen Funktionsanalyse und der CAD/CAM-Welt sowohl neue Visualisierungsmöglichkeiten als auch die Option flexiblerer und vollständig modellfreier Workflows. Gerade für die Okklusions- und Funktionsanalyse ist es notwendig, die biologischen Gegebenheiten des stomatognathen Systems so nahe wie möglich wiederzugeben. In einem Artikulator, der programmierten Werten folgt, ist die Imitation der multifaktoriell bedingten Kieferbewegung nur unzureichend möglich¹⁴. Ist eine reproduzierbare Abstützung der Zähne nicht gegeben und eine Änderung der VDO geplant, wird in der ZKP rehabilitiert und die Position für den Unterkiefer neu gewählt, um eine anatomische und funktionelle Harmonie zu entwickeln¹⁵. Bei diesen Patienten ist eine Vorbehandlung mit einer Okklusionsschiene ein therapieentscheidender Faktor, um die neu hergestellte Position und vertikale Höhe vor der definitiven Rehabilitation zu evaluieren¹⁶. Der Patient sollte den Restaurationsentwurf mithilfe bimaxillärer Schienen für mindestens drei Monate ästhetisch und phonetisch evaluieren sowie u. U. durch Schliffacetten funktionell feinadjustieren¹⁷. Dieser von dem Patienten evaluierte Prototyp kann anschließend in die definitive Restauration überführt werden.

Ziel dieses Beitrages ist es, anhand einer klinischen Fallbeschreibung bei einem Patienten mit einem starken Verlust der VDO und dem Verdacht einer Kompression der Kiefergelenke, den Einsatz des DMD-Systems zur Bestimmung der zentrischen therapeutischen Position und der VDO darzustellen. Es soll eine Anregung gegeben werden, konventionelle Techniken kritisch zu überdenken, um innovative digitale Techniken weiter in den zahnmedizinischen Workflow zu integrieren.

Messsystem (hier: DMD-System)

Das Dental-Motion-Decoder-System (DMD-System, Fa. Ignident GmbH, Ludwigshafen am Rhein, Deutschland) zeichnet auf Basis der Magnetfeldtechnologie mit einer Frequenz von 66 Herz über zwei okklusionsnah auf die Zähne der gegenüberliegenden Kieferhälften aufgeklebte Sensoren, sog. Marker Tools (MTs), die Bewegungen des Unterkiefers in allen 6 Freiheitsgraden (3 translative und 3 rotatorische Bewegungsrichtungen) mit Zeitbezug, ohne Beeinträchtigung der statischen und dynamischen Okklusion, auf¹⁸. Die Daten werden in der systemeigenen Software gespeichert und sind für die weitere Verarbeitung verfügbar. Die generierten Daten können für die analoge,

netically for at least 3 months with the help of bimaxillary splints¹⁷. If necessary, the situation can be fine-tuned functionally based on the wear facets¹⁷. This prototype situation can then be transferred to the final restoration.

The purpose of the present article is to present the DMD-System (Ignident, Ludwigshafen, Germany) for determining the centric therapeutic position and VDO for a patient with severe VDO loss and suspected compression of the temporomandibular joints (TMJs). The article intends to stimulate a critical reassessment of conventional techniques in order to promote further integration of innovative digital techniques into the dental workflow.

Measuring system (here: DMD-System)

The measuring system examined in this article is the dental motion decoder system (DMD-System). This system captures the movements of the mandible in all six degrees of freedom (three translational and three rotational directions of movement) with reference to time, without affecting the static and dynamic occlusion. It is based on magnetic field technology at 66 Hz using two sensors, the so-called marker tools (MTs), which are bonded to the teeth in both arches, close to the occlusion¹⁸. The data are stored in the system's software and are available for further processing. The data, which can be used for analog, digital, or virtual articulator programming, are available in XML format for further processing. Furthermore, it is possible to link the patient's movement data to data from an intraoral scanner or digitized models (STL data), facilitating the visualization of real movements and a model-free digital workflow. In addition to visualizing the mandibular movements and providing the values for articulator programming, a therapeutic position can be defined purely digitally, with a new CR and a new VDO. A special interface to external CAD software allows this therapeutic position to be integrated into the CAD/CAM denture.

Case presentation

Baseline situation

The present case report illustrates the use and integration of a fully digital CR positioning technique as part of a digital workflow for the pretreatment phase with removable full-contour tooth-colored polycarbonate repositioning splints. A 25-year-old male presented with generalized, primarily erosive and attritive, defects of the dental hard tissue



Fig 1 Baseline situation. A patient with extensive loss of dental hard tissue and gaps forming in the anterior region due to generalized abrasion.

Abb. 1 Ausgangssituation eines Patienten mit umfangreichen Zahnhartsubstanzverlusten und Lückenbildung im Frontzahnbereich infolge eines generalisierten Abrasionsgebisses.

(Figs 1 to 3). The patient complained of increasing chemical and thermal irritability and functional and esthetic impairment, which was confirmed by the intraoral clinical findings and the results of the occlusal analysis. Almost all teeth exhibited extensive wear facets not commensurate with the patient's age, sometimes pronounced dentin exposure, and increasing gaps in the anterior region. An examination of the dynamic and static occlusion revealed anterior and lateral group function and the absence of any anterior/canine guidance (Fig 3). These findings are clear indicators of parafunctions in the stomatognathic system and must be regarded as the main cause of the generalized loss of dental hard tissue⁶. Occasional pain in the right and left TMJs supported the suspicion of TMJ compression. Extraoral findings confirmed the severe intraoral destruction in terms of a bilateral masseter hypertrophy and a shortened lower third of the face (Fig 1) due to a reduction in the VDO.

Treatment planning

An essential step of this treatment concept is to restore a physiologic and functional position of the mandible relative to the maxilla and to reconstruct the lost VDO and esthetic appearance. The aim is to reconstruct a functional occlusion and suitable tooth proportions in order to stop the destructive process. The lost hard tissue should first be reconstructed by a wax-up and evaluated intraorally using a mock-up.

digitale oder virtuelle Artikulator-Programmierung verwendet werden und stehen im xml-Format für die Weiterverarbeitung zur Verfügung. Im Weiteren ist es möglich die Bewegungsdaten des Patienten mit Daten eines Intraoral-scanners oder digitalisierten Modellen (stl-Daten) zu verknüpfen. Dies ermöglicht eine Visualisierung der Realbewegung und einen modellfreien digitalen Workflow. Neben der Visualisierung der Unterkieferbewegung und dem Auslesen der Werte für die Artikulator-Programmierung, lässt sich rein digital eine therapeutische Position in neuer ZKP und neuer VDO festlegen. Eine spezielle Schnittstelle zu einer externen CAD-Software ermöglicht die Integration der therapeutischen Position in den CAD/CAM-gefertigten Zahnersatz.

Fallvorstellung

Ausgangssituation

In dieser Fallvorstellung wird die Anwendung und Integration einer volldigitalen zentrischen Kieferpositionierungstechnik und deren Implementierung in den digitalen Workflow für die Vorbehandlungsphase mit herausnehmbaren vollanatomischen, zahnfarbenen Polycarbonat-Repositionierungsschienen dargestellt. Ein 25-jähriger Mann stellte sich mit vornehmlich erosiv und attritiv auffallenden generalisierten Zahnhartsubstanzdefekten vor



Fig 2 Generalized abrasion areas, some with pronounced dentin exposure, and gaps forming in the anterior region.

Abb. 2 Generalisierte Abrasionsflächen mit teilweise ausgeprägten Dentinexpositionen und Lückenbildung im Frontzahn-bereich.



Fig 3 Lateral group function during laterotrusion due to the loss of anterior/canine guidance.

Abb. 3 Laterale Gruppenführung bei der Laterotrusion infolge des Verlustes der Front-Eckzahnführung.

(Abb. 1 bis 3). Der Patient klagte über eine zunehmende Empfindlichkeit gegenüber chemischen und thermischen Reizen und über funktionelle und ästhetische Beeinträchtigungen. Bestätigt wurde dies durch den intraoralen Befund und der Okklusionsanalyse. Hier zeigten nahezu alle Zähne umfangreiche und nicht dem Alter entsprechende Schliffacetten, zum Teil mit ausgeprägter Dentinexposition und Lückenbildung im Frontzahnbereich. Die Überprüfung der dynamischen und statischen Okklusion zeigte eine anteriore und laterale Gruppenführung sowie das Fehlen einer Front-Eckzahn-Führung (s. Abb. 3). Dies sind deutliche Marker von Parafunktionen im stomatognathen System und als wesentliche Ursache für den generalisierten Verlust der Zahnhartsubstanz zu werten⁶. Gelegentliche Schmerzen im rechten und linken Kiefergelenk unterstützen den Verdacht einer Kiefergelenkskompression. Der extraorale Befund bestätigte den starken intraoralen Destruktionsgrad der Zähne durch eine beidseitige Masseter-Hypertrophie und Verkürzung des unteren Gesichtsdrittels, infolge einer Verringerung der VDO (s. Abb. 1).

Therapieplanung

Ein wesentlicher und therapieentscheidender Schritt dieses Behandlungskonzeptes ist die Wiederherstellung einer physiologischen und funktionellen Position von Unterkiefer zu Oberkiefer und die Rekonstruktion der verlorengegangenen VDO und Ästhetik. Ziel ist es eine funktionelle Okklusion und adäquate Zahnproportionen zu rekonstru-

Once this visual evaluation is positive, an esthetic and functional evaluation phase with a tooth-colored bimaxillary polycarbonate Munich splint should follow^{17,19}. At the end of a complaint-free wearing period of at least 3 months, the splint position should be gradually transferred to indirectly fabricated and adhesively cemented ceramic restorations. Alginate impressions (Xantalgin; Kulzer, Hanau, Germany) of both jaws were taken to obtain a diagnostic model. In addition, a bite rim record (Futar D; Kettenbach, Eschenburg, Germany) was taken and an arbitrary facebow transfer was performed. After a detailed analysis of the diagnostic model as well as the clinical and functional findings, an interdisciplinary treatment concept was developed together with the patient, taking into account all the risks and benefits of the restorative materials:

- Digital functional analysis using the DMD-System and determination of the therapeutic position in the new VDO.
- Transfer of the digitally determined CR and VDO to the articulator.
- Creation of an analog diagnostic wax-up based on the digital functional analysis (DMD-System) for the evaluation of the new VDO, function, phonetics, esthetics, and occlusal plane.
- Intraoral wax-up try-in with optional modifications.
- Transfer of the wax-up representing the reconstructed VDO to full-contour tooth-colored maxillary and mandibular polycarbonate repositioning splints for functional and esthetic evaluation.

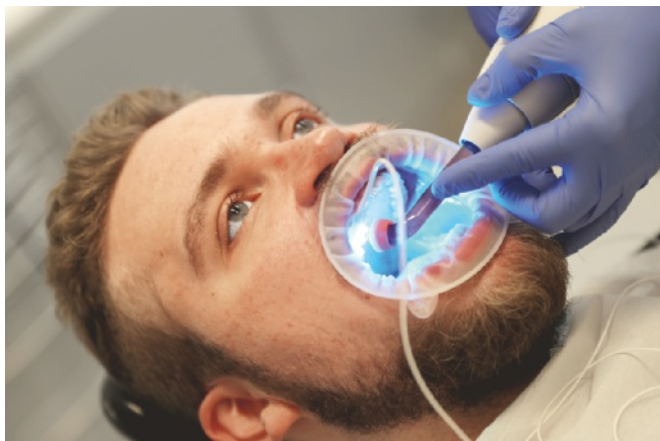


Fig 4 Securing the marker tools (MTs) on teeth 14/15 and 34/35 without affecting the static and dynamic occlusion.

Abb. 4 Fixieren der Marker-Tools (MTs) auf den Zähnen 14/15 und 34/35 ohne Beeinträchtigung der statischen und dynamischen Okklusion.

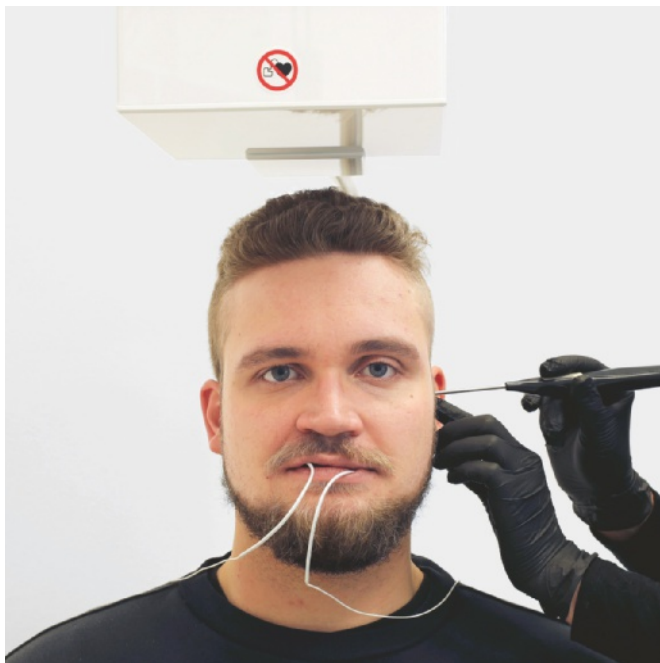


Fig 5 The DMD-System as used on the patient with intraorally bonded MTs. Probing and 'calibrating' the reference points with the pointing tool prior to the measurement. The distance from the MTs to the field generating device (FGD) is approximately 25 cm. The patient is seated in a relaxed position with an upright posture.

Abb. 5 Dental Motion Decoder System, hier angelegt am Patienten mit intraoral verklebten Marker-Tools. Vor der Messung werden die Referenzpunkte mit dem Pointing Tool (PT) am Patienten angetastet und „eingemessen“. Der Abstand von MTs zum FGD beträgt ca. 25 cm. Der Patient sitzt aufrecht und entspannt.

ieren, um den destruktiven Prozess zu unterbinden. Die verlorengegangene Zahnhartsubstanz sollte zunächst durch ein Wax-up wieder rekonstruiert und durch ein Mock-up am Patienten evaluiert werden. Nach positiver Evaluation des Mock-ups durch den Patienten, sollte sich eine ästhetische und funktionelle Evaluationsphase mit einer zahnfarbenen bimaxillären Münchner-Schiene aus Polycarbonat anschließen^{17,19}. Nach beschwerdefreier Tragedauer von mindestens drei Monaten sollte die Schienenposition sukzessive in definitive adhäsiv befestigte und indirekt gefertigte Keramikrestorationen überführt werden. Für die vorläufige Planung wurden Alginatabformungen (Xantalgin, Fa. Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland) beider Kiefer genommen, zur Herstellung diagnostischer Situationsmodelle. Zudem wurde ein Quetschbiss mit Futar D (Fa. Kettenbach GmbH & Co. KG, Deutschland) und eine arbiträre Gesichtsbogenübertragung durchgeführt. Nach ausführlicher Modellanalyse sowie klinischer und funktioneller Befundung, wurden mit dem Patienten unter Abwägung aller Vorzüge, Risiken sowie Vor- und Nachteile der Restaurationsmaterialien, ein interdisziplinäres Behandlungskonzept erstellt:

- Digitale Funktionsanalyse mit dem DMD-System und Festlegung der therapeutischen Position in neuer VDO
- Übertragung der digital bestimmten zentrischen Relation/ZKP und VDO in den Artikulator
- Erstellung eines analogen analytischen Wax-ups auf der Basis der digitalen Funktionsanalyse zur Evaluierung der neuen VDO, Funktion, Sprache, Ästhetik und Okklusionsebene
- Intraorale Wax-up-Einprobe am Patienten mit optionalen Modifikationen
- Übertragung des Wax-ups mit der rekonstruierten VDO in vollanatomische zahnfarbene Ober- und Unterkiefer Repositionierungsschienen aus Polycarbonat zur funktionellen und ästhetischen Evaluierung.

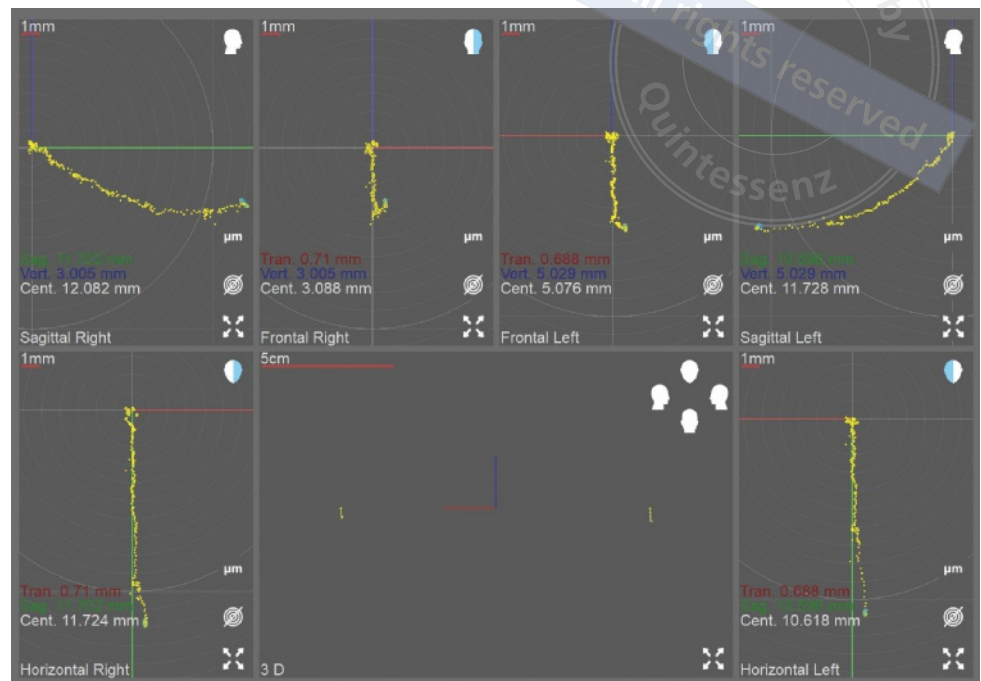
Klinische Schritte

Für die Herstellung der Arbeitsmodelle und des analytischen Wax-ups wurden eine arbiträre Gesichtsbogenübertragung und Präzisionsabformungen (Impregum Super Quick, Fa. 3M, Seefeld, Deutschland) beider Kiefer genommen. In der darauffolgenden Sitzung wurde ein Intraoral-scan (Primescan, Fa. Dentsply Sirona, York, PA, USA) beider Kiefer durchgeführt. Anschließend wurden die MTs des DMD-Systems, hochempfindlichen 6DoF(Six-Degrees-of-Freedom)-Sensoren mit einem Gewicht pro Sensor von ca.



Fig 6 Representation of the opening and closing movement in the Ignident software. The trajectories of the left and right condyles can be analyzed in all three spatial planes for each measurement point.

Abb. 6 Darstellung der Öffnungs- und Schließbewegung in der Ignident-Software. Die Bewegungsbahnen des linken und rechten Kondylus lassen sich in allen drei Raumebenen für jeden Messpunkt analysieren.



3 Gramm, in regio 14/15 und regio 34/35 unter relativer Trockenlegung mit Adhese Universal (Fa. Ivoclar, Ellwangen, Deutschland) und einem fließfähigen Komposit (Tetric EvoFlow, Fa. Ivoclar, Ellwangen, Deutschland) an den bukkalen Flächen der Zähne, nahe der Okklusionsebene befestigt, ohne dass die statische und dynamische Okklusion beeinträchtigt wurde (Abb. 4). Dies wurde mit Okklusionspapier überprüft. Die Positionen der MTs wurden in einem zweiten partiellen Intraoralscan nachgescannt, um so die Bewegung der Kieferscans mithilfe der MT-Positionsscans zu referenzieren. Vor der Messung mit dem DMD-System legte der Proband Schmuck, Brille und andere metallische Gegenstände ab, da wie in anderen medizinischen Studien gezeigt wurde, das Vorhandensein von metallischen oder ferromagnetischen Quellen im Messbereich die Messgenauigkeit erheblich beeinträchtigen kann²⁰. Der Proband wurde auf einem Stuhl unter das Magnetfeld erzeugende „Field Generating Device“ (FGD) des DMD-Systems platziert. Dabei hatten die Sensoren einen Abstand von ca. 25 cm zum FGD. Der Proband saß für die Messung entspannt und aufrecht. Vor der Aufzeichnung der Bewegungen wurden die einzelnen Bewegungsmuster mit dem Probanden geübt. Für die Ermittlung der individuellen Funktionsparameter und Winkelwerte muss dem System ein Referenzraum gegeben werden. Über ein Zeigestift (Pointing Tool) wurden diese Referenzpunkte,

Clinical procedure

An arbitrary facebow transfer and precision impressions (Impregum Super Quick; 3M, Seefeld, Germany) of both jaws were taken to produce the working casts and diagnostic wax-up. In the following session, an intraoral scan (Primescan; Dentsply Sirona, York, PA, USA) of both jaws was performed. Subsequently, the MTs of the DMD-System, highly sensitive six degrees of freedom (6DOF) sensors weighing approximately 3 g each, were cemented to the buccal surfaces of the teeth, close to the occlusal plane, at sites 14/15 and 34/35, after relative desiccation with Adhese Universal (Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Germany) and a flowable composite (Tetric EvoFlow; Ivoclar Vivadent) without affecting the static or dynamic occlusion (Fig 4), which was confirmed with Shimstock foil. The positions of the MTs were rescanned in a second partial intraoral scan, referencing the movement of the jaw scans based on the MT position scans. Prior to the measurements with the DMD-System, the patient removed his jewelry, glasses, and other metallic objects, as other studies have shown that the presence of metallic or ferromagnetic objects in the measurement zone can significantly impair the accuracy of the measurements²². The patient was seated in a relaxed position in a chair under the field generating device (FGD) of the DMD-System, which generates the magnetic field. The sensors were placed at a distance of approximately 25 cm from the FGD. The

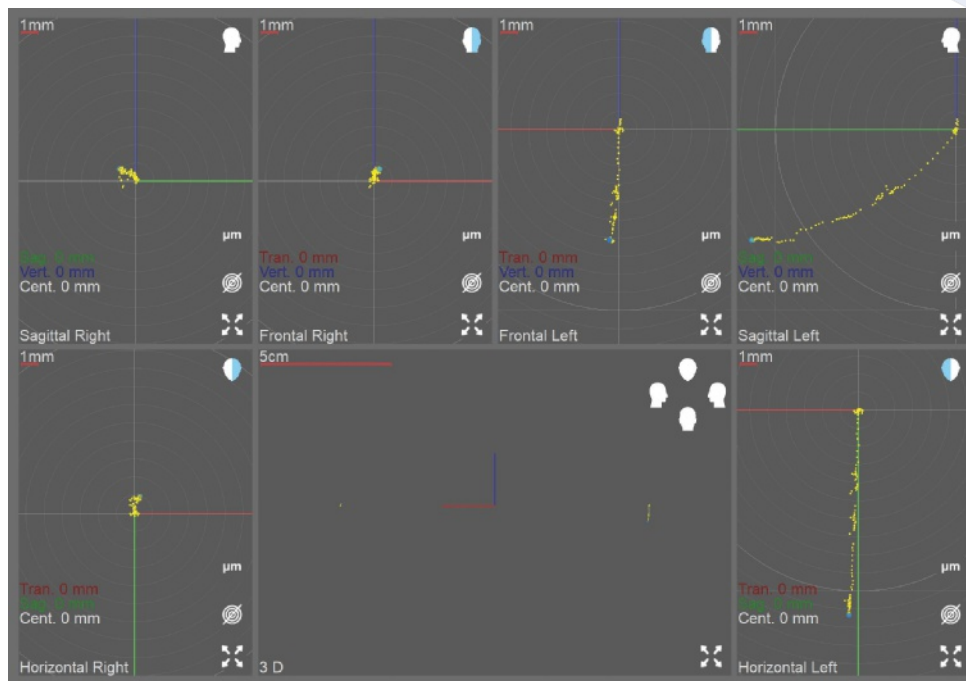


Fig 7 Trajectories after laterotrusion on the right.

Abb. 7 Bewegungsbahnen nach Laterotrusion rechts.

patient assumed an upright posture for this measurement. The individual movement patterns had been practiced with him before they were actually recorded. The determination of the individual function parameters and angles require the definition of a reference space. Using a pointing tool, these reference points were probed and ‘calibrated’ on the patient’s head prior to recording any movements (Fig 5). All movements started at the maximal intercuspal position (MIP). The first movement was an opening and closing movement (Fig 6), followed by centric bite registration without any manual manipulation or ‘guidance’ of the mandible. Subsequently, protrusion and laterotrusion on the right (Fig 7) and left were recorded, with and without tooth contact. In addition, contact movements such as grinding and chewing were recorded. After the recording, the MTs were carefully removed, and the teeth were polished and fluoridated (Elmex Fluid; Colgate-Palmolive, New York, NY, USA). The precision impressions, arbitrary facebow transfers, intraoral scan data, and DMD-System movement data were transmitted to the dental laboratory for the creation of a diagnostic wax-up to evaluate the esthetics, occlusion, and function in a physiologic position.

Analysis and retrieval of the movement data

Within the analysis space of the Ignident software, trajectories and angles can be analyzed and therapeutic positions

vor der Bewegungsaufzeichnung, am Kopf des Patienten angetastet und „eingemessen“ (Abb. 5). Ausgangsposition der Bewegungen war die IKP. Die erste Bewegung war die Öffnungs- und Schließbewegung (Abb. 6), gefolgt von der zentrischen Bissnahme ohne eine manuelle Manipulation bzw. „Führung“ des Unterkiefers. Anschließend wurde die Protrusion und die Laterotrusion nach rechts (Abb. 7) und links mit und ohne Zahnkontakt aufgezeichnet. Zudem wurden Nahbewegungen, wie Knirschen und Kauen, registriert. Nach dem Aufzeichnen der Bewegungen wurden die MTs vorsichtig entfernt, die Zähne poliert und fluoridiert (Elmex Fluid, Fa. Colgate-Palmolive Company, New York, USA). Die Präzisionsabformungen, die arbiträren Gesichtsbogenübertragung, die Daten des intraoralen Kieferscans sowie die Bewegungsdaten des DMD-Systems wurden an das zahntechnische Labor zur Erstellung eines analytischen Wax-ups für die Rekonstruktion und Evaluation der Ästhetik, Okklusion und Funktion in physiologischer Position übermittelt.

Analyse und Auslesen der Bewegungsdaten

Im Analysebereich der Ignident-Software lassen sich die Bewegungsbahnen und Winkelwerte analysieren und therapeutische Positionen speichern und exportieren (s. Abb. 6 und 7). Die Winkelwerte sagittaler Kondylenbahn-

Fig 8 Therapeutic position on the closing movement for the creation of the diagnostic wax-up.

Abb. 8 Therapeutische Position auf der Schließbewegung für die Erstellung des analytischen Wax-ups.

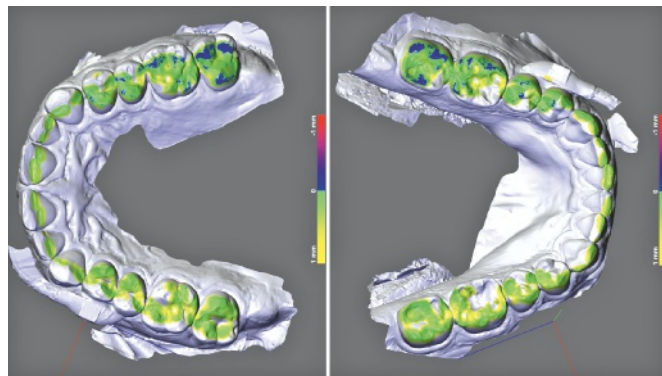
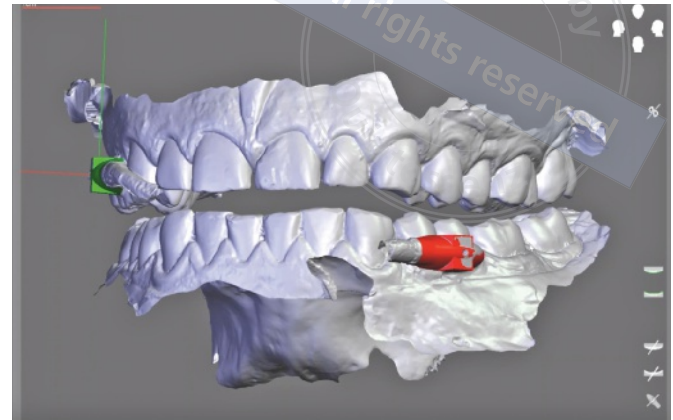


Fig 9 Occlusal contact pattern in habitual intercuspitation. The extensive contacts in the posterior region and static contacts in the anterior region are clearly visible.

Abb. 9 Okklusales Kontaktmuster in habitueller Interkuspitation. Deutlich sichtbar sind die großflächigen Kontakte im Seitenzahngebiet und statischen Einbisse im Frontzahnbereich.

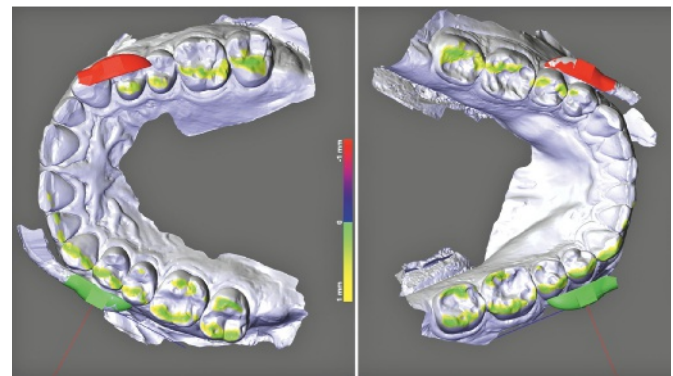


Fig 10 Representation of group function during lateral movements. No anterior/canine guidance is present.

Abb. 10 Darstellung der Gruppenführung bei der Lateralbewegung. Eine Front-Eckzahnführung ist nicht mehr vorhanden.

Neigungswinkel (sCPIA), Bennett Winkel (BA) und Immediate Sideshift (ISS) wurden für die Artikulator-Programmierung aus den gespeicherten Bewegungsdaten generiert. Unter dem Reiter 3-D-Daten ist eine Überlagerung der Bewegungsdaten mit dem stl-Datensatz der Intraoral-scans und somit eine Visualisierung der Unterkieferfunktion möglich (Abb. 8). Es lassen sich damit Okklusionskontaktbeziehungen sowohl statisch als auch dynamisch für jeden Messpunkt visualisieren (Abb. 9 und 10).

Die Software bietet die Möglichkeit jedem Messpunkt eine Relation von Unter- zu Oberkiefer zuzuordnen, um gewünschte Bisslagen und die digital errechnete statische Okklusion in eine CAD-Software zu exportieren. Dabei ist der Bewegung der Kiefergelenke in antero-kaudaler Richtung, im Sinne einer Entlastung (Dekompression) der Kondylus-Diskus-Fossa-Relation, ein besonderes Augenmerk

saved and exported (Figs 6 and 7). The sagittal condylar path inclination angle (sCPIA), Bennett angle (BA), and immediate sideshift (ISS) were generated from the stored movement data in order to program the articulator. The '3D Data' tab allows superimposing the movement data on the STL data set of the intraoral scans to visualize the mandibular function (Fig 8). This allows occlusal contact relationships, constructed based on the DMD data, to be visualized both statically and dynamically for each measuring point (Figs 9 and 10).

The software offers the possibility to assign a specific maxillomandibular relation to each measuring point in order to export the desired occlusal positions and digitally generated and calculated static occlusion to the CAD software. Special attention must be paid to the movement of the TMJs in the antero-caudal direction, in terms of the relief (decompression) of the condyle-disc-fossa relationship, to counter-

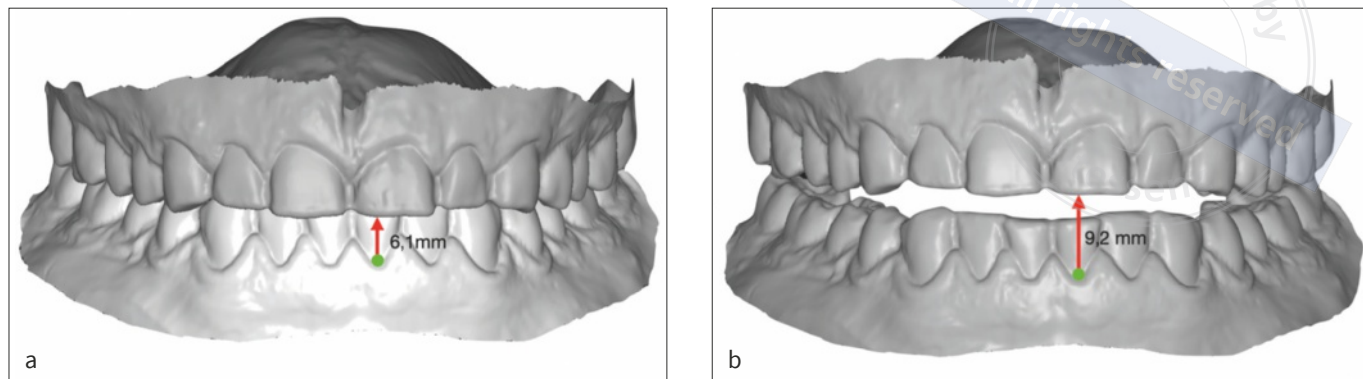


Fig 11 (a) Distance from the gingival margin of tooth 31 to the incisal edge of tooth 21 in the maximal intercuspal position (MIP): 6.1 mm. (b) Therapeutic position in the new vertical dimension of occlusion (VDO) with the bite raised by 3.1 mm (the distance from the gingival margin of tooth 31 to the incisal edge of tooth 21 was 9.2 mm) on closing movements.

Abb. 11 Abstand gemessen am Gingivasaum 31 zur Schneidekante 21 in IKP (6,1 mm) (a). Therapeutische Position in neuer VDO mit einer Bisserrhöhung von 3,1 mm (Abstand der Gingiva 31 zur Schneidekante 21 = 9,2 mm) auf der Schließbewegung (b).

act any suspected compression in the TMJ. The therapeutic position was selected on the closing path of the centric bite registration movement to possibly achieve a physiologic condyle-disc relation in a slightly antero-caudal position. The intention was to locate a physiologic joint space in order to relieve the compression. Whether this goal has been achieved can be clinically examined but can only be conclusively clarified with medical imaging procedures such as magnetic resonance imaging (MRI). In the present alignment, the VDO was raised by 3.1 mm (Fig 11), as measured by the distance of the gingival margin of tooth 31 to the incisal edge of tooth 21. The new therapeutic CR and new VDO as well as the angles were transferred to the analog articulator for the creation of a diagnostic wax-up.

Laboratory steps and wax-up/mock-up

Based on the intraoral scans, arbitrary facebow transfer, patient-specific functional parameters (sCPIA, BA, ISS) obtained from the DMD-System for articulator programming, and the new therapeutic CR and VDO, a diagnostic wax-up was prepared to evaluate the esthetics, occlusion, and function in the fully adjustable articulator (Artex CR; Amann Girschbach, Pforzheim, Germany). The DMD data (sCPIA, BA, ISS) were converted so that they would be suitable for the articulator. Based on all the collected data, the maxillary and mandibular models were mounted in the new planned VDO and CR in the articulator. Superimposing digital jaw data on data from scanned models makes it possible to transfer analog models to the articulator and align them. This combination is

zuzuordnen um dem Verdacht der Kompression im Kiefergelenk entgegenzuwirken. Die therapeutische Position wurde auf der Schließbewegungsbahn der zentrischen Bissregistrierungsbewegung gewählt, um eine mögliche physiologische Kondylus-Diskus-Relation in leicht antero-kaudaler Stellung zu erreichen. Ob dieses Ziel erreicht wird, kann klinisch nicht abschließend geklärt werden, sondern nur über bildgebende Verfahren wie der Magnetresonanztomografie (MRT). Bei dieser Ausrichtung wurde die VDO um 3,1 mm angehoben (Abb. 11), gemessen am Abstand der Gingiva von 31 zur Schneidekante 21. Die Kieferrelation in neuer therapeutischer zentrischer Relation und neuer VDO, und die Winkelwerte wurden in den analogen Artikulator für die Erstellung eines analytischen Wax-ups übertragen.

Labortechnische Schritte

Auf Basis der intraoralen Kieferscans, der arbiträren Gesichtsbogenübertragung, der patientenindividuellen Funktionsparameter (sCPIA, BA, ISS) mit dem DMD-System für die Artikulator-Programmierung sowie der neuen therapeutischen Zentrik und VDO wurde ein analytisches Wax-up zur Rekonstruktion und Evaluation der Ästhetik, Okklusion und Funktion im volljustierbaren Artikulator (Artex CR, Fa. Amann Girschbach, Pforzheim, Deutschland) angefertigt.

Die DMD-Daten (sCPIA, BA, ISS) wurden so konvertiert, dass sie für den Artex CR geeignet waren. Basierend auf allen gesammelten Daten wurden die Ober- und

Unterkiefermodelle in der neu geplanten VDO und ZKP im Artex CR artikuliert. Durch die Überlagerung digitaler Kieferdaten mit Daten eingescannter Modelle kann eine Übertragung und Ausrichtung analoger Modelle im Artikulator ermöglicht werden. Diese Kombination ist nützlich um digitale- und analoge Workflows hinsichtlich eines physischen analytischen Wax-ups zu verknüpfen. Das diagnostische Wax-up wurde mit einem speziellen Wachs (Carving-Wax grey, Fa. Schuler-Dental, Ulm, Deutschland) in neuer VDO und Okklusionsebene erstellt. Um das Wax-up zu kopieren wurde eine Silikonschlüssel aus einer Silikonschicht (Matrix Flow 70 clear, Fa. Anaxdent GmbH, Stuttgart, Deutschland) über dem Wax-up hergestellt und im Drucktopf ausgehärtet um die Genauigkeit des Mock-ups zu erhöhen. Als direktes Mock-up aus einem Autopolymerisat (Protemp 4, 3M GmbH, Neuss, Deutschland), wurde das Wax-up mittels des Silikonschlüssels in den Mund des Patienten übertragen. Dabei wird der Silikonschlüssel mit dem autopolymerisierenden Kunststoff befüllt und im Patientenmund positioniert. Anhand des Mock-ups wurde die neue VDO, ZKP, die statische und dynamische Okklusion, die Funktion und Ästhetik soweit wie möglich bewertet und evaluiert. Anpassungen von Funktion und Ästhetik waren in dieser Sitzung nicht notwendig. Auf diese Weise können die erforderlichen therapeutischen Maßnahmen aus funktioneller und ästhetischer Sicht im Vorfeld evaluiert werden. Dies ermöglicht es im Vorfeld, für den Zahnarzt und den Patienten, Einfluss auf die endgültige Gestaltung der definitiven Prothetik zu nehmen.

Nach Einprobe und klinischer Evaluation am Patienten wurde im zahntechnischen Labor das analytische Wax-up und das Meistermodell der Ausgangssituation eingescannt (Scanner S900, Fa. Zirkonzahn, Gais, Italien) und anschließend mit den intraoral erfassten Daten überlagert (Abb. 12). Die Schienenkonstruktion erfolgte auf Basis der Kiefermodelle und des analytischen Wax-ups unter Nutzung der anatomischen Zahnstrukturen aus der Zahndatenbank (Zirkonzahn.Modellier software V.6173-6843-x64, Fa. Zirkonzahn, Gais, Italy). Die statische und dynamische Okklusion wurde bereits mit den digital generierten Bewegungsdaten analog im Artikulator erarbeitet und in der CAD-Software mittels digitalen Artikulators erneut überprüft. Anschließend wurden die Ober- und Unterkieferschienen aus einem Hochleistungspolymer (Polycarbonat, Temp Premium Flexible, Fa. Zirkonzahn, Gais, Italien) mit der 5-Achs-CNC-Fräsmaschine M1 der Firma Zirkonzahn gefräst. Die Schienen wurden abschließend erneut im



Fig 12 Superimposition of the initial situation with the wax-up and completed splint construction in the STL data set.

Abb. 12 Überlagerung der Ausgangssituation mit dem Wax-up und abgeschlossene Schienen-Konstruktion im .stl-Datensatz.

useful for linking digital and analog workflows with a view to a physical diagnostic wax-up. The diagnostic wax-up was constructed with the new planned VDO and new occlusal planes using a special wax (Carving-Wax grey; Schuler-Dental, Ulm, Germany). To copy the wax-up, a silicone matrix was prepared from a layer of silicone (Matrix Flow 70 clear; Anaxdent, Stuttgart, Germany) over the wax-up and hardened in a pressure pot to increase the accuracy of the mock-up. As a direct mock-up made of autopolymerized resin (Protemp 4; 3M Deutschland, Neuss, Germany), the new parameters and esthetics were then transferred to the patient's mouth. Autopolymerizing resin was injected into the matrix and positioned in the patient's mouth to transfer the wax-up. The mock-up was used to evaluate the new VDO, CR, occlusal contacts (both statically and dynamically), function, and esthetics. Further functional and esthetic corrections and adjustments were not necessary. In this way, the required interventions can be precisely determined in advance from a functional and esthetic point of view and enable both the dentist and patient to influence the final design in the run-up to treatment. After the try-in and clinical examination, the diagnostic wax-up and master cast of the initial situation were scanned at the laboratory (S900 ARTI scanner; Zirkonzahn, Gais, Italy) and superimposed with the data recorded intraorally (Fig 12). The splint design was based on the jaw models and the diagnostic wax-up using anatomical designs from the dental database (Zirkonzahn.Modellier software V.6173-6843-x64; Zirkonzahn). The static and dynamic occlusion had already been worked out analogously in the articulator using the digitally generated movement data and re-

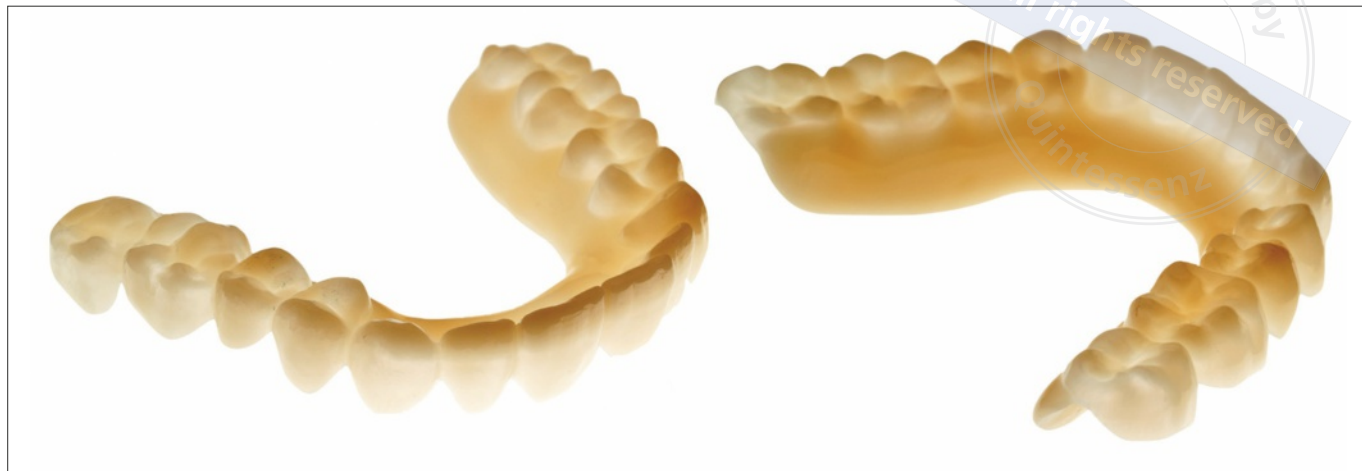


Fig 13 Maxillary and mandibular polycarbonate splints for functional and esthetic evaluation.

Abb. 13 Ober- und Unterkiefer Polycarbonatschienen zur funktionellen und ästhetischen Evaluierung.

examined in the digital articulator of the CAD software. The maxillary and mandibular splints were milled from a high-performance polycarbonate (Temp Premium Flexible; Zirkozahn) using a M1 5-axis CNC milling unit (Zirkozahn). The splints were reexamined in the individually programmed analog articulator for their static and dynamic occlusion, and finally polished (Fig 13).

Try-in and delivery

The maxillary and mandibular polycarbonate splints fitted well and without problems, with adequate retention and no unpleasant tension (Fig 14). The examination of the static occlusion with Shimstock foil showed that the contacts were uniformly tight in the posterior region and reduced in the anterior region. No changes to the static occlusion were required. The patient described the new CR and VDO as appropriate and comfortable. The dynamic occlusion showed harmonious anterior/canine guidance, without any balancing or hyperbalancing contacts in the posterior region. No early contacts in the posterior region were detected during phonetic testing. The patient was not aware of any irritating factors and was pleased with the esthetics and function (Fig 15).

Following the recommendation of the treatment team, the patient wore the splints continually, day and night, for 3 months, except when eating or performing oral hygiene. No esthetic or functional adjustments were required during this period. Minimal 'adjustments' by the patient as manifested by minor wear facets are beneficial and can easily be transferred to the definitive denture by digital superimposition.

individuell programmierten analogen Artikulator auf ihre statische und dynamische Okklusion überprüft und poliert (Abb. 13).

Einprobe und Eingliederung

Die Ober- und Unterkiefer-Polycarbonatschienen ließen sich ohne Probleme mit einer sehr guten Passung, einer adäquaten Retention und ohne unangenehme Spannungsgefühle eingliedern (Abb. 14). Bei der Überprüfung der statischen Okklusion mit Shimstock-Folie waren die Kontakte im Seitenzahnbereich gleichmäßig fest und im Frontzahnbereich reduziert fühlbar. Es mussten keine Änderungen der statischen Okklusion vorgenommen werden. Die neue zentrische Relation und VDO wurden vom Patienten als passend und angenehm beschrieben. Die dynamische Okklusion zeigte sich in einer harmonischen Front-Eckzahn-Führung, ohne Balance- und Hyperbalancekontakte im Seitenzahngebiet. Bei der Sprachprobe konnten keine Frühkontakte im Seitenzahngebiet festgestellt werden. Der Patient empfand keinerlei störende Faktoren und war von der Ästhetik und Funktion überzeugt (Abb. 15).

Der Empfehlung entsprechend trug der Patient die Schienen drei Monate lang Tag und Nacht durchgehend, mit Ausnahme beim Essen und während der Reinigung. Ästhetische- oder funktionelle Adjustierungen mussten in diesem Zeitraum nicht vorgenommen werden. Eine minimale Feinjustierung durch den Patienten selbst im Sinne von kleineren Schliffacetten ist vorteilhaft und kann pro-

Fig 14 Tooth-colored polycarbonate splints after insertion for functional and esthetic evaluation of the new digitally determined centric relation (CR) and VDO.

Abb. 14 Zahnfarbene Okklusionsschienen aus Polycarbonat nach Eingliederung zur funktionellen und ästhetischen Evaluierung der neuen digital festgelegten zentrischen Kondylenposition und VDO.



Fig 15 Maxillary and mandibular CAD/CAM polycarbonate splints delivered to evaluate function and esthetics.

Abb. 15 Situation nach Eingliederung der CAD/CAM- gefertigten Ober- und Unterkiefer-Polycarbonatschienen für die Evaluierungsphase der Funktion.

blemlos durch digitales Überlagern in den definitiven Zahnersatz übernommen werden. Funktionell kam der Patient mit der digital festgelegten zentrischen Relation und neuen VDO sehr gut zurecht. Der weitere Behandlungsverlauf, im Sinne einer keramischen Vollsanieung in der erprobten Schienenposition und Höhe, bildete den nächsten und finalen Behandlungsschritt, der jedoch nicht Bestandteil dieses Beitrages ist und bereits an anderer Stelle ausführlich beschrieben wurde¹⁷.

Diskussion

Der Behandlungserfolg von prothetischem Zahnersatz wird von der richtigen Therapiewahl geprägt und hängt von einer Vielzahl verschiedener Faktoren ab. Digitale Behandlungskonzepte rücken dabei zunehmend in den Vordergrund und unterstützen oder ersetzen konventio-

Functionally, the patient coped very well with the digitally determined CR and new VDO. Further treatment – all-ceramic restorations using the splint-tested position and height – constituted the next and final treatment step, but this step is beyond the scope of this article, having been described in detail elsewhere¹⁷.

Discussion

The success of any prosthetic treatment depends on making the correct treatment choices based on a number of factors. Digital treatment approaches are becoming increasingly prevalent, supporting or replacing conventional techniques. These digital innovations are meant to sustainably improve, customize, and simplify dental treatment options and to render the treatment more efficient. Electromagnetic tracking of sensors in a magnetic field is a key technology related to

computer-assisted medical-surgical interventions^{21,22}. This technology facilitates continuous real-time position monitoring of medical instruments or sensors while leaving the line of sight unobstructed^{21,22}. The main advantages include a high level of accuracy (30 to 100 µm, according to the manufacturer's specifications [Ignident], in part depending on the accuracy of the intraoral scan), fewer complications, and shorter interventions. These benefits have been demonstrated in various medical studies, especially for neurosurgical and orthopedic applications²¹. Magnetic field technology is also used in dentistry^{18,23,24}, in addition to the still more common optical and sonographic detection methods¹². A disadvantage of the optical detection method is the need to monitor the markers visually²², which means that they must be placed at a distance from the occlusion. The same holds true for sonographic detection. Here, electromagnetic tracking has emerged as a very straightforward alternative, as the positions of small sensors can be detected throughout the region of interest without the need for them to be visually accessible. The DMD-System is one of those systems that are based on electromagnetic field technology. It records the mandibular function in all six degrees of freedom, complete with exact time records, using 66-Hz technology with two sensors bonded close to the occlusion. This allows important jaw movement data to be generated and integrated into the digital workflow. However, while innovative measurement technology has many benefits, there are also certain limitations such as the technology being contraindicated in the presence of any type of pacemaker. The main advantage of integrating the patient's specific natural movement pattern into the CAD/CAM production of tooth-colored occlusal splints is that, with this procedure, the biologic status of the stomatognathic system informs the entire design and production process, allowing extended specific functional diagnostics as well as providing documentation.

Among a wide range of other factors, the prevention of temporomandibular dysfunction (TMD) symptoms relies on interference-free anterior/canine guidance from a physiologic condylar position¹⁵. However, a systematic literature review showed that the success of functional restorations in sustainably treating parafunction does not depend on occlusion, and therefore cannot only be treated using dental restorations²⁵. Practitioners must be aware of this multifactorial nature and must consider further evidence.

The procedure described in this article allows the clinician to determine a possibly physiologic maxillomandibular position – self-centered by the patient, without irritating bulky facebows, weights, or manual guidance. Integrating

nelle Techniken. Diese Innovationen sollen die zahnmedizinischen Versorgungsmöglichkeiten nachhaltig verbessern, individualisieren, vereinfachen und effizienter gestalten. Das elektromagnetische Tracking von Sensoren in einem Magnetfeld ist eine Schlüsseltechnologie im Zusammenhang mit computergestützten medizinisch-chirurgischen Eingriffen^{21,22}. Diese Technologie ermöglicht die kontinuierliche Echtzeitlokalisierung von medizinischen Instrumenten oder Sensoren und ist ohne Sichtlinieneinschränkung möglich^{21,22}. Die Vorteile sind vor allem eine hohe Genauigkeit (laut Hersteller: 30–100 µm, abhängig u. a. von der Genauigkeit des Intraoralscans), wenige Komplikationen und eine kurze Eingriffsdauer. Dies wurde in verschiedenen medizinischen Studien nachgewiesen, insbesondere für neurochirurgische und orthopädische Anwendungen²¹. Auch in der Zahnmedizin findet neben der weiterverbreiteten optischen- und sonographischen Erfassung¹², die Magnetfeldtechnologie ihre Anwendung^{18,23,24}. Ein Nachteil der optischen Erfassung ist die Notwendigkeit, die Marker visuell zu erreichen²², wodurch nur eine okklusionsferne Detektion möglich ist. Das Gleiche gilt für die sonographische Detektion. Für solche Anwendungen hat sich das elektromagnetische Tracking als sehr einfach herauskristallisiert, da die Lokalisierung kleiner Sensoren in allen Bereichen möglich ist, ohne dass eine Sichtverbindung erforderlich ist. Das DMD-System beruht auf dem Prinzip der Magnetfeldtechnologie und zeichnet mit einer Frequenz von 66 Herz über zwei okklusionsnah verklebte Sensoren, die Unterkieferfunktion in allen 6 Freiheitsgraden mit Zeitbezug auf. Damit können wichtige patientenspezifische Bewegungsdaten generiert und in den digitalen Workflow integriert werden. Neben den positiven Aspekten dieser innovativen Messtechnologie gibt es auch Limitationen. Jegliche Art von Schrittmachern stellen eine Kontraindikation für diese Messtechnologie dar. Als Hauptvorteil der Integration des natürlichen und patientenindividuellen Bewegungsmusters in die CAD/CAM-Fertigung von zahnfarbenen Okklusionsschienen kann die Übertragung der biologischen Gegebenheiten des stomatognathen Systems, die erweiterte spezifische Funktionsdiagnostik und Dokumentation gewertet werden.

Die Prävention von CMD-Symptomen, beruht neben einer Vielzahl anderer Faktoren, auf einer störungsfreien Front-Eckzahnführung aus einer physiologischen Kondylenposition¹⁵. In einer systematischen Literaturübersicht konnte jedoch gezeigt werden, dass der Erfolg funktioneller prothetischer Restauration bei der Behandlung von

Parafunktionen nicht von der Okklusion abhängig sei und daher nicht nur mit zahnärztlichen Restaurationen behandelt werden kann²⁵. Praktiker müssen sich dieses multifaktoriellen Charakters bewusst sein und weitere Erkenntnisse berücksichtigen.

Das beschriebene Verfahren ermöglicht es dem Kliniker, eine möglichst physiologische Kieferposition zu bestimmen – selbstzentriert durch den Patienten, ohne störende sperrige Gesichtsbögen, Gewichte oder manuelle Führung. Die Integration der instrumentellen Funktionsanalyse in die klinische Praxis ermöglicht ein besseres Verständnis der multidimensionalen Beziehung zwischen Okklusion, Funktion und anatomischen Strukturen.

Dieser Fallbericht zeigt, dass das DMD-System zufriedenstellende und präzise Ergebnisse liefern konnte. Dennoch gibt es derzeit wenig Daten über die Reliabilität und Validität des Systems, was als ein limitierender Faktor dieser Fallbeschreibung angesehen werden kann. In einer Reproduzierbarkeitsstudie zeigte das DMD-System *in vitro* und *in vivo* (innerhalb der biologischen Varianz) zufriedenstellende Ergebnisse¹⁸, es gibt jedoch keine Aussage über die Genauigkeit und Validität. Dieser Mangel an Daten sollte durch weitere Untersuchungen geklärt werden, da falsch ermittelte Funktionsparameter die Symptome von CMD-Patienten verschlimmern könnten. Außerdem müssen bestimmte Faktoren unberücksichtigt bleiben, die durch zusätzliche Studien und Fallberichte evaluiert werden müssen. Es ist sinnvoll die Reproduzierbarkeit der Messwerte und der therapeutischen Position an verschiedenen Messtagen zu evaluieren, um die klinische Reproduzierbarkeit und biologische Varianz abschätzen zu können. Die Weiterverarbeitung und Überlagerung der Bewegungsdaten mit den .stl-Daten des Intraoralscans muss auf ihre Präzision untersucht werden und mit gleichwertigen Daten verglichen werden. Fehlerhaftes Matching, mangelhafte Intraoralscans oder fehlende Kalibrierungen können sich agglomerieren und zu weitreichenden Abweichungen führen. Vergleichende Messungen mit ähnlichen Systemen am selben Patienten könnten Aufschluss über mögliche systemspezifische Abweichungen geben.

Schlussfolgerung

Das Autorenteam verwendet seit vielen Jahren zunehmend CAD/CAM-gefertigte zahnfarbene Okklusionsschienen aus Polycarbonat für die ästhetische und funktionelle Evaluation einer neuen VDO in zentrischer Position. Dieser

instrumental functional analysis into clinical practice provides a better understanding of the multidimensional relationship between occlusion, function, and anatomical structures. The present case report demonstrates that the DMD-System might deliver satisfactory and precise results. Nevertheless, there is currently almost no data on the reliability and validity of the DMD-System, which may be considered a limiting factor of this report. In a reproducibility study, the DMD-System showed satisfactory results *in vitro* and *in vivo* (within biologic variance)¹⁸. However, there is no statement about the accuracy and validity of the DMD-System. This lack of data should be clarified by further investigations, as incorrectly determined functional parameters could aggravate the symptoms of TMD patients. Moreover, certain factors had to be left unexamined; these would need to be evaluated by additional studies and case reports. It would make sense to evaluate the reproducibility of the measured values and therapeutic positions on different days to assess the method's clinical reproducibility and biologic variance. Downstream processing and superimposition of the movement data on the STL data produced by intraoral scanning should be examined for precision, and then be compared with equivalent data obtained by different methods. Incorrect matching, poor intraoral scans, or a lack of proper calibration may lead to the accumulation of errors, leading to broad discrepancies. Comparative measurements using similar systems on the same patient could provide information about potential system-specific deviations.

Conclusions

For many years now, the authors have increasingly been using CAD/CAM tooth-colored polycarbonate occlusal splints for the esthetic and functional evaluation of a new VDO in the centric condylar position. The present case report is the first to describe the implementation of the movement data with the DMD-System within a workflow for CAD/CAM splints. Based on the present clinical case and the experience gained from it, the following advantages of integrating patient movement data into the pretreatment phase of the functional therapy can be identified:

1. Integration of the patient's specific natural movement pattern into the CAD/CAM production of tooth-colored full-contour occlusal splints, for better adaptation to the new VDO and CR.
2. Less intraoral occlusal adjustment, saving time and money for patients, practitioners, and dental technicians.

3. Digital documentation and visualization of the patient's functional status and movement patterns.
4. Possibility of model-free digital prosthetics without the limitations inherent in static articulators.

Acknowledgment

The authors would like to thank Ms Petra Clauß, Ignident GmbH, for her assistance and support with this case report.

Disclaimer

The authors state no conflicts of interest. The present case report was not funded.

Fallbericht ist der erste Bericht über die Implementierung der Bewegungsdaten mit dem DMD-System in den Workflow dieser CAD/CAM-gefertigten Schienen. Auf der Basis des vorliegenden Behandlungsfalles und der damit gesammelten Erfahrungen können folgende Vorteile für die Integration der patientenindividuellen Bewegungsdaten in die funktionstherapeutische Vorbehandlungsphase festgestellt werden:

1. Integration des natürlichen und patientenindividuellen Bewegungsmusters in die CAD/CAM-Fertigung von zahnfarbenen vollanatomischen Okklusionsschienen zur besseren Adaptation an die neue VDO und zentrische Position.
2. Reduzierte okklusale Einschleifmaßnahmen am Patienten und somit ein zeitlicher und wirtschaftlicher Vorteil für Patient, Behandler und Zahntechniker.
3. Digitale Dokumentation und Visualisierung des Funktionsstatus und der Bewegungsmuster.
4. Mögliche modellfreie digitale Prothetik ohne limitierende Faktoren eines statischen Artikulators.

Danksagung

Die Autoren danken Frau Petra Clauß, Firma Ignident GmbH, für die Unterstützung und Mitbetreuung bei diesem Fallbericht.

References

1. Loomans B, Opdam N, Attin T, et al. Severe Tooth Wear: European Consensus Statement on Management Guidelines. *J Adhes Dent* 2017;19:111–119.
2. Shellis RP, Addy M. The interactions between attrition, abrasion and erosion in tooth wear. *Monogr Oral Sci* 2014;25:32–45.
3. Lussi A, Carvalho TS. Erosive tooth wear: a multifactorial condition of growing concern and increasing knowledge. *Monogr Oral Sci* 2014;25:1–15.
4. Mehta SB, Banerji S. The restorative management of tooth wear involving the aesthetic zone. *Br Dent J* 2018;224:333–341.
5. Abduo J, Lyons K. Clinical considerations for increasing occlusal vertical dimension: a review. *Aust Dent J* 2012;57:2–10.
6. Litonjua LA, Andreana S, Bush PJ, Cohen RE. Tooth wear: attrition, erosion, and abrasion. *Quintessence Int* 2003;34:435–446.
7. Calamita M, Coachman C, Sesma N, Kois J. Occlusal vertical dimension: treatment planning decisions and management considerations. *Int J Esthet Dent* 2019;14:166–181.
8. Pokorny PH, Wiens JP, Litvak H. Occlusion for fixed prosthodontics: a historical perspective of the gnathological influence. *J Prosthet Dent* 2008;99:299–313.
9. Williamson EH, Lundquist DO. Anterior guidance: its effect on electromyographic activity of the temporal and masseter muscles. *J Prosthet Dent* 1983;49:816–823.
10. Reusch D, Groot Landeweer G, Feyen J. Das Zentrikregistrat. *Quintessenz Zahnmedizin* 2015;66:1435–1444.
11. Kordaß B, Behrendt C, Ruge S. Computerized occlusal analysis – innovative approaches for a practice-oriented procedure. *Int J Comput Dent* 2020;2:363–375.
12. Kordass B, Ruge S, Ratzmann A, Hugger A. Current technologies for functional diagnostics and CAD/CAM. *Int J Comput Dent* 2013;16:163–171.
13. Utz K, Hugger A, Ahlers M, Seeher W. S2k Guideline, Instrumental Functional Analysis in Dentistry. *J Craniomand Funct* 2016;8:185–236.
14. Kordass B, Gärtner C, Söhnel A, et al. The virtual articulator in dentistry: concept and development. *Dent Clin North Am* 2002;46:493–506.
15. McIntyre FM, Jureyda O. Occlusal function. Beyond centric relation. *Dent Clin North Am* 2001;45:173–180.
16. Jakstat HA, Ahlers MO. Klinische Funktionsanalyse. 4. Aufl. Hamburg: dentalConcept Verlag GmbH, 2011.

17. Edelhoff D, Schweiger J, Prandtner O, Trimpl J, Stimmelmayer M, Güth JF. CAD/CAM splints for the functional and esthetic evaluation of newly defined occlusal dimensions. *Quintessence Int* 2017;48:181–191.
18. Goob J, Erdelt K, Schweiger J, Pho Duc JM, Schubert O, Güth JF. Reproducibility of a magnet-based jaw motion analysis system. *Int J Comput Dent* 2020;23:39–48.
19. Edelhoff D, Schweiger J. CAD/CAM tooth-colored splints for the esthetic and functional evaluation of a new vertical dimension of occlusion. *Quintessence Dental Technician Year Book* 2014;37:1610–1623.
20. Poulin F, Amiot LP. Interference during the use of an electromagnetic tracking system under OR conditions. *J Biomech* 2002;35:733–737.
21. Franz AM, Haidegger T, Birkfellner W, Cleary K, Peters TM, Maier-Hein L. Electromagnetic tracking in medicine – a review of technology, validation, and applications. *IEEE Trans Med Imaging* 2014;33:1702–1725.
22. Sorriento A, Porfido MB, Mazzoleni S, et al. Optical and electromagnetic tracking systems for biomedical applications: A critical review on potentialities and limitations. *IEEE Rev Biomed Eng* 2020;13:212–232.
23. Baeyens JP, Gilomen H, Erdmann B, Clijsen R, Cabri J, Vissers D. In vivo measurement of the 3D kinematics of the temporomandibular joint using miniaturized electromagnetic trackers: technical report. *Med Biol Eng Comput* 2013;5:479–484.
24. Kazazoglu E, Heath MR, Ferman AM, Davis GR. Recording mandibular movement: technical and clinical limitations of the Sirognathograph. *J Orofac Pain* 1994;8:165–177.
25. Manfredini D, Lombardo L, Siciliani G. Temporomandibular disorders and dental occlusion. A systematic review of association studies: end of an era? *J Oral Rehabil* 2017;44:908–923.



Janosch Goob

Janosch Goob, Dr med dent
Department of Prosthetic Dentistry, University Hospital, LMU Munich, Germany

Otto Prandtner, MDT
Plattform Laboratory, Munich, Germany

Josef Schweiger, MSc, CDT
Department of Prosthetic Dentistry, University Hospital, LMU Munich, Germany

Jan-Frederik Güth, Prof Dr med dent
Department of Prosthetic Dentistry, Center for Dentistry and Oral Medicine (Carolinum), Goethe University Frankfurt, Frankfurt am Main, Germany

Daniel Edelhoff, Prof Dr med dent
Department of Prosthetic Dentistry, University Hospital, LMU Munich, Germany

Address Dr Janosch Goob, Goethestrasse 70, 80336 Munich, Germany; Tel: +49 89 4400 59516, Fax: +49 89 4400 59502;
Email: Janosch.Goob@med.uni-muenchen.de