Praxisorientierte Analyse der funktionellen Okklusion

Einsatz von Kopplungslöffeln in der CAD/CAM-Technologie

Autoren_Prof. Dr. med. dent. Bernd Kordaß, Dr. rer. med. Sebastian Ruge

Die technische Umsetzung und Analyse der funktionellen Okklusion setzt voraus, dass die Zahnreihen in einer eindeutigen „Zentrik" zueinander gefügt und in einem Artikulator gegeneinander wenigstens nach rechts, nach links und nach vorne und zurück bewegt werden können. Dafür lassen sich die Steuerelemente je nach Artikulatortyp mehr oder weniger individuell justieren. In diesem Zusammenhang wurde immer schon vom „Programmieren des Artikulators" gesprochen: In den Augen so mancher Anwender sollte der Artikulator eigentlich mehr sein, als nur ein mechanisches Hilfsteil. Mit dem Sprung in die Computerwelt konnte dann wirklich „programmiert" werden; besonders anschaulich werden diese Entwicklungsschritte bei Stüttgen in dem Artikel „Zahnmedizinische Prothetik im Zeichen der Computertechnologie" beschrieben.[1]

_Bei den modernen Virtuellen Artikulatoren (VR-Artikulatoren) ist es dann der Artikulator selbst, der programmiert ist und mit Methoden der Computergrafik visualisiert und animiert wird. Dadurch eröffnen sich völlig neue Ansichten, die das Verständnis von Okklusion und Okkludieren bzw. von Form und Funktion revolutionieren können. Über solche Lösungen, die ganz neue Gesichtspunkte implementieren, soll im Folgenden berichtet werden.

_Entwicklungsschritte zum „programmierten" Artikulator

Es hat nicht an Ansätzen in früheren Zeiten gefehlt, dem „Programmieren" schon möglichst nahezukommen. Gewissermaßen im Vorgriff auf die jetzt aktuellen Entwicklungen wurde von Böttger in den 1980er-Jahren das Konzept einer restaurativ-prothetischen Zahnmedizin vorgestellt, bei dem es

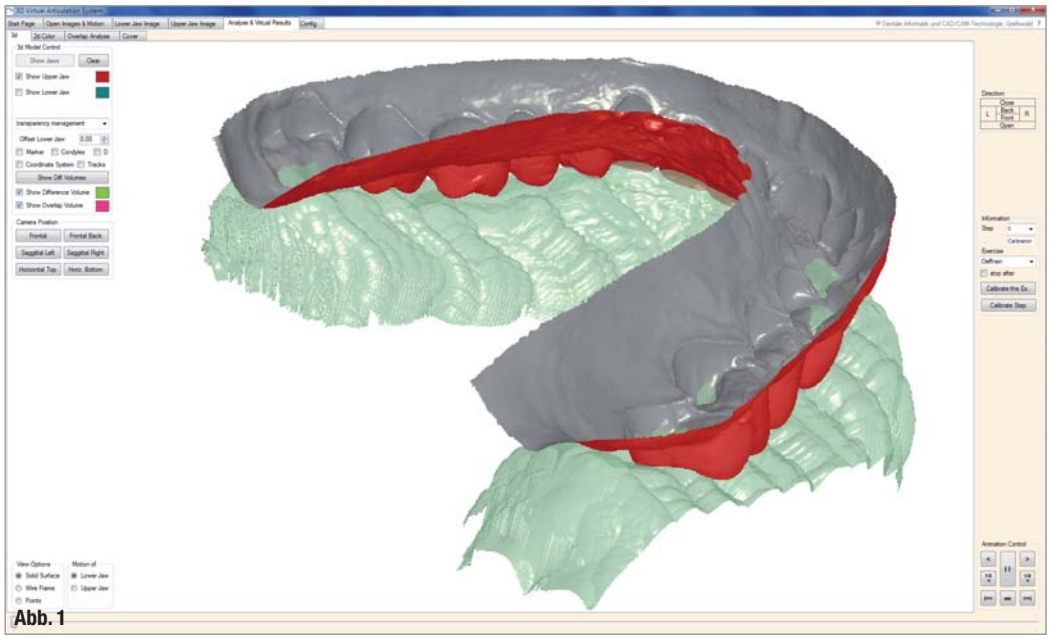


Abb. 1_ Virtuelles FGP Registrat – Berechnung von Hüllkurven dynamischer Bewegungen des eingescannten Unterkiefers im virtuellen Artikulator 3-D-VAS des Centrums für Dentale Informatik und CAD/CAM-Technologie in Greifswald in Zusammenarbeit mit der Firma Zebris, Isny.

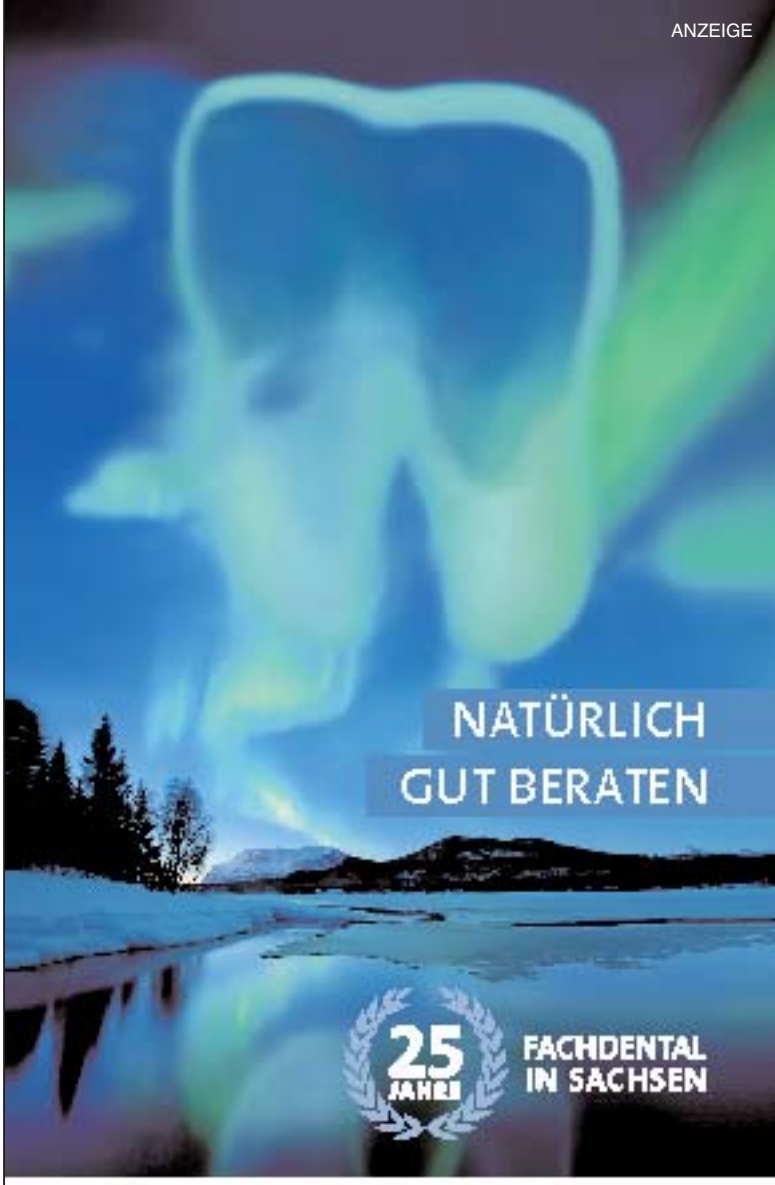
primär darauf ankam, die funktionelle Okklusion in der „Gleitbahn" bzw. „Kaubahn", also unter den Gesichtspunkten der oralen Physiologie, abzubilden.[2] An dieser Stelle sei an diese speziellen Methoden erinnert, mit denen in besonderer Weise die Einsteuerung nach individuellen Bewegungsmustern beabsichtigt war. Hierzu zählen die FGP-Technik (Functional Generated Path), mit der die Bewegungsbahnen antagonistischer Kauflächenkonturen als dreidimensionale Raumkurven in ein zunächst plastisches, dann erhärtetes Registriermaterial „eingraviert" werden,[3] oder spezielle Vorrichtungen für den TMJ-Artikulator (Clutches), mit denen sich die individuellen Bewegungsbahnen von vier intraoral montierten Stiftchen im Artikulator nachfahren lassen und so ein individuelles Ausformen der Gelenkboxen ermöglichte. Eine elektronische Variante wurde mit dem Einsatz von CNC-Fräsmaschinen zur Ausformung von Gelenkboxen verfolgt. Die digitalen Daten zum Ansteuern der Fräsvorrichtung stammen aus dem elektronischen Messsystem Compugnath nach Luckenbach (Fa. Amann Girrbach, Pforzheim).[4] Ganz ähnliche Ansätze mit gefrästen Einsätzen für die sagitale Kondylenbahn und für die Bennettbewegung gab es damals für den Stratos-Artikulator (Fa. Ivoclar Vivadent, Schaan/Liechtenstein).

Ein anderer Weg, um vor allem auch neuromuskuläre Funktionsmuster einer Kaubewegung präzise zu übertragen, war der Einsatz von Bissrobotern. Ausgehend von den bahnbrechenden Versuchen von Gibbs et al.[5] hat es wenig Initiativen gegeben, Roboter für die Praxisroutine einzusetzen. Eine besondere Ausnahme war das ROSY-System von Edinger.[6] Schrittmotoren steuerten Bewegungsbahnen, die mit elektronischen Systemen aufgezeichnet wurden. In der Software von ROSY konnten zudem 3-D-gescannte Kauflächen implementiert und Bewegungsbahnen einzelner Zähne oder Zahnsegmente zueinander virtuell dargestellt werden. Mit ROSY gab es auch die ersten Ansätze zur Darstellung einer „virtuellen" FGP-Technik[7], deren Potenzial im Zusammenhang mit virtuellen Artikulatoren (VR-Artikulatoren) gerade im aktuellen Schrifttum als praxisorientierte Anwendung für CAD/CAM-Restaurationen besonders herausgestellt und gewürdigt wird (Abb. 1).[8-13]

_Grenzen mechanischer Artikulatoren

Mit VR-Artikulatoren lassen sich ganz neue Ansichten und Perspektiven auf die Okklusion und Bewegungsdynamik gewinnen und zugleich Schritt für Schritt die Einschränkungen mechanischer Artikulatoren überwinden,[14] denn die mechanische Welt hat definitiv ihre Grenzen und vermag nur völlig unzureichend die biologische Wirklichkeit annähernd präzise wiederzugeben. Zum einen sind es werk-

ANZEIGE



FACH DENTAL
LEIPZIG 2014

Über 200 Aussteller präsentieren ihr umfangreiches Produkt- und Dienstleistungsportfolio für Zahntechnik und Zahnmedizin. Sammeln Sie bis zu zehn Fortbildungspunkte auf dem Symposium des Dental Tribune Study Club und informieren Sie sich über die Top-Themen:

> Prophylaxe – gesunde Zähne durch gute Vorsorge.
> Ästhetische Zahnheilkunde – das I-Tüpfelchen hochwertiger Zahnmedizin.
> Kinderzahnheilkunde – so macht der Zahnarztbesuch Kindern Spaß!

26. – 27. SEPTEMBER
LEIPZIGER MESSE

www.fachdental-leipzig.de

Veranstalter: Die Dental-Depots in der Region Sachsen, Sachsen-Anhalt SOH, Thüringen Ost

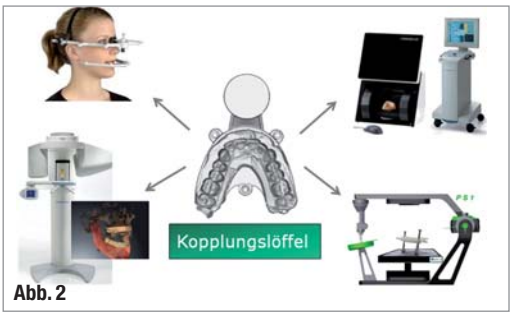


Abb. 2

Abb. 2_ Schema der Vernetzung mit dem „Kopplungslöffel": computergestützte Kinematik mit dem Jaw Motion Analyser JMA bzw. dem Jaw Motion Tracker JMT+ (oben links) – Dentale und IO-Scanner (oben rechts) – Digitale Volumentomografie: hier Galileos-System mit Software der Fa. SICAT (unten links) – mechanischer Artikulator, hier: Artikulator der Fa. Zirkonzahn.

stoff- und verfahrenstechnisch bedingte Unwägbarkeiten, wie das spaltfreie Fügen von Registraten auf Gipsmodellen, zum anderen biologisch-anatomische Faktoren: hierzu zählen die individuelle Variabilität der Kaufunktion, die Resilienz von Weichteilstrukturen im menschlichen Kiefergelenk, die parodontale Eigenbeweglichkeit der Zähne, die Beweglichkeit von Prothesen und die Verbiegungen der Unterkieferspange bei Beanspruchung unter Kau- und Beißkrafteinfluss.[15]

Die momentan marktgängigen VR-Artikulatoren orientieren sich bislang primär an der klassischen mechanischen Welt – bilden diese gewissermaßen ab.[16] Eine gewisse Parallelität zwischen VR-Artikulator und mechanischem Vorbild ist damit garantiert. Allerdings wurden die generellen Imponderabilien auf die virtuelle Welt übertragen. Auch die Zahnführungen im VR-Artikulator folgen exakt dem mechanischen Vorbild – mit dem Nachteil, dass die feinmotorische Taktilität und manuelle Koordination des Zahntechnikers, der den Artikulator in die Hand nimmt, nicht nachgeahmt wird. Ein erfahrener Zahntechniker kompensiert die mechanischen Einschränkungen durch feintaktiles „Feeling" und manuelle Koordination – hingegen ist man bei der Anwendung von VR-Artikulatoren, die die mechanische Welt nur nachahmen und kopieren, in einem nie gekannten Ausmaß der „Maschinenwelt" ausgeliefert.

Abb. 3

Abb. 3_ „Kopplungslöffel" mit Impressionen auf dem Oberkiefermodell platziert – nur zur besseren Anschauung hier transparent. Der Löffel hat Referenzmarkierungen, die gescannt und auch im DVT sichtbar werden, und besitzt einen anterioren Steg für die Montage des Messsensors; der Steg ist bei Untersuchungen im DVT abnehmbar.

Umso wichtiger ist es, die tatsächlichen biologischen Bedingungen so gut wie irgend möglich virtuell nachzuahmen. Auf der IDS 2013 in Köln wurde eine solche Lösung durch direkte Ankopplung eingescannter Zahnreihen (intraoral oder mit Dentalscannern) mit computergestützten Bewegungsaufzeichnungen vorgestellt.[17]

_Kopplungslöffel für den realdynamischen Artikulator

Zentrales Hilfsteil für die Anwendung realdynamischer Artikulatoren ist ein spezieller „Kopplungslöffel". Solch ein Kopplungshilfsteil ist die entscheidende Lösung, die unter Praxisbedingungen Systeme ganz unterschiedlicher Art miteinander verbinden und deren Datensätze und -ausgaben präzise referenzieren kann. Der „Kopplungslöffel" der Fa. Zebris (Isny), der in Zusammenarbeit mit dem Centrum für Dentale Informatik und CAD/CAM (SFZ, Greifswald) entwickelt wurde, „verzahnt" in diesem Sinne individuelle, mit dem ultraschallbasierten Messsystem Jaw Motion Analyser (JMA- bzw. JMT+-System) aufgezeichnete Bewegungsmuster mit digitalen Kiefermodellen via Dentalscanner oder intraoralen Scannern sowie der anatomischen 3-D-Darstellung der Kiefer mittels digitaler Volumentomografie (hier speziell SiCAT-Funktion der Fa. SiCAT, Bonn, in Kopplung mit der CEREC-Omnicam, Fa. Sirona, Bensheim).[18] Zudem schafft der Kopplungslöffel die „Schnittstelle" zur mechanischen Welt, weil mit ihm Modelle ohne Gesichtsbogen im mechanischen Artikulator ausgerichtet werden können (hier mit dem Artikulator nach Plaster, Fa. Zirkonzahn, Bruneck/Italien)[19] (Abb. 2).

Entscheidend ist, dass der Kopplungslöffel eine Ansatzstelle für den Messsensor des computergestützten Messsystems (JMA bzw. JMT+) hat und zugleich Träger von Referenzen bzw. speziellen Markierungen ist, die in korrekter Platzierung und Positionierung des Löffels am Zahnbogen mit bzw. zusätzlich eingescannt werden (Abb. 3).

Je nach Indikation und Anwendungsgebiet haben die Kopplungslöffel unterschiedliche Geometrien: beispielsweise sind sie für die Anwendung intraoraler Scanner perforiert, um das „Matching" des Löffels mit IO-gescannten Modellen zu erleichtern, und für die Anwendung im DVT ist der anteriore Steg abnehmbar gestaltet. Es würde an dieser Stelle zu weit führen, auf alle Detailaspekte der Kopplung einzugehen. Detaillierte Gesichtspunkte zum praktischen Vorgehen können der aktuellen Literatur entnommen werden.[20] An dieser Stelle soll mit Blick auf eine instrumentelle Okklusionsanalyse herausgearbeitet werden, an welchen Stellen die virtuelle Darstellung der Darstellung im mechanischen Artikulator entspricht und an welchen Stellen er-

Abb. 4_ Darstellung der „zentrischen" Okklusion im Artikulator mit Shimstock-Folie nach „Absenken" um den Betrag der Bisssperrung durch das Zentrikregistrat: erster Kontakt distal im Molarenbereich.
Abb. 5a und 5b_ Initialer, „zentrischer" Frühkontakt im Molarenbereich distal: korrespondierende Kontaktsituation Ober- und Unterkiefer.

weitert. Grundlage der instrumentellen Okklusionsanalyse ist der Standard, wie er von Engelhardt definiert und an praktischen Beispielen beschrieben wurde.[21]

_Okklusionsanalyse

Bei einem Patientenfall mit craniomandibulärer Dysfunktion (CMD), dessen Symptome mittels adjustierter Aufbissschiene im Oberkiefer deutlich gebessert waren, soll die vorhandene Okklusion im realdynamischem Artikulator analysiert und Ansätze für eine biomechanische Optimierung der Okklusion gewonnen werden. Natürlich lässt sich eine solche Okklusionsanalyse auch mit konventionellen Methoden durchführen; es wurden bei der Patientin beide Methoden im Interesse einer Vergleichbarkeit und gegenseitiger Ergänzung der Techniken eingesetzt. Die konventionelle instrumentelle Okklusionsanalyse sieht die schädelgelenkbezügliche Montage der Modelle von Ober- und Unterkiefer in zentrischer bzw. therapeutischer Kieferrelation in einem individuellen Artikulator vor, wobei die „zentrische" Okklusion durch Absenken um das Ausmaß der Bisssperrung im „Zentrikregistrat" dargestellt wird.
Um besondere biomechanische Gesichtspunkte, wie die Verwindung der Unterkieferspange oder die Eigenbeweglichkeit der Zähne wenigstens im Ansatz mechanisch zu berücksichtigen, ist es empfehlenswert, das Unterkiefermodell im konventionellen Artikulator als Sägemodell anzufertigen, wobei die Seitenzähne und der Frontzahnblock „gepinnt" und einzeln entnommen werden können. Im praktischen Vorgehen lässt sich die Bisssperrung so bis zum ersten „zentrischen" Okklusionskontakt verringern; der Kontakt wurde mit Shimstock-Folie detektiert (Abb. 4) und mit farbiger Hanelfolie markiert, anschließend der betreffende kontaktführende Zahn am Unterkiefer herausgenommen und der Artikulator dann bis zum nächsten Kontakt abgesenkt, der Kontakt wieder markiert, der betreffende Zahn entfernt, und so weiter, bis die Okklusion an allen Zähnen mit klinisch nachweisbaren Kontakten (gemäß Okklusionsprotokoll) erfasst wurde. In diesem Patientenfall fokussieren die initialen, zentrischen „Frühkontakte" distal an den endständigen Molaren (Abb. 5) – hier zum Vergleich im realdynamischen VR-Artikulator: das Okklusionsmuster aller kontakttragenden Zähne in habitueller Interkuspidation (Abb. 6). Diese Kontaktbeziehung in habitueller Interkuspidation lässt sich anhand von starren Gipsmodellen beim bezahnten Patienten in vielen Fällen gar nicht und nur mit größerem Aufwand darstellen. Häufig muss technischerseits an Kontaktstellen auf dem Gipsmodell „radiert" werden, bevor alle Zähne mit klinisch nachweisbarem Kontakt diesen Kontakt auch auf dem Modell haben.
Die Darstellung der dynamischen Okklusion zeigte deutliche Hyperbalancen an den endständigen Molaren. Der realdynamische Artikulator visualisierte diese okklusalen Interferenzen in ganz ähnlicher Weise, nur, dass es hier möglich ist, Kontakte fließend und gleitend

Abb. 6_ Kontaktmuster der habituellen Interkuspidation im realdynamischen VR-Artikulator.

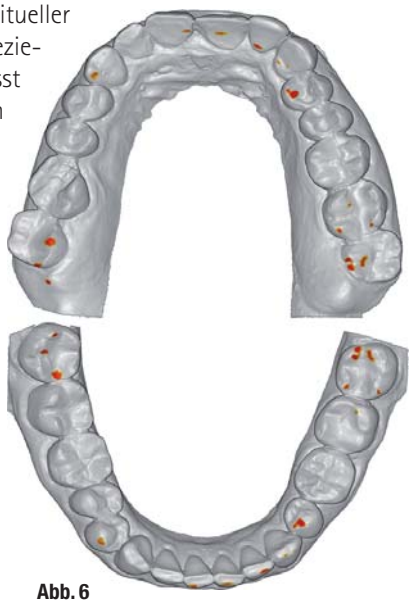


Abb. 6

Abb. 7a

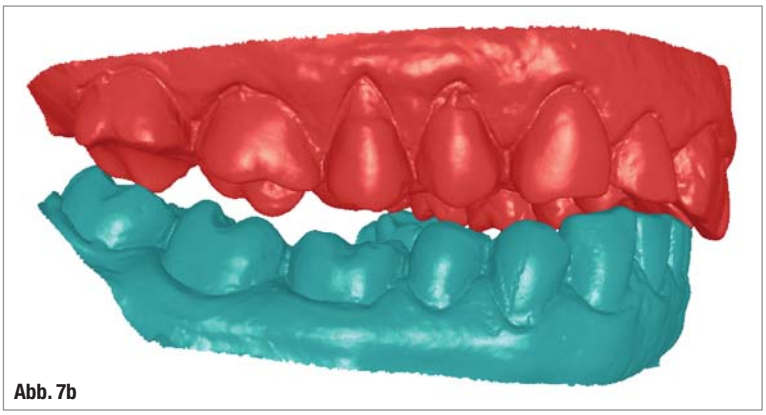


Abb. 7b

Abb. 7a_ Hyperbalance im mechanischen Artikulator.
Abb. 7b_ Hyperbalance im VR-Artikulator – vergleichbare Situation wie in Abb. 7a.
Abb. 8_ Okklusale Annäherungen/Kontakte bei Kaubewegungen: Es wurden nur die Schließbewegungen beim Kauen ausgewertet. Die häufigsten 10 % der aufgetretenen Kontaktbeziehungen sind dunkelrot; abnehmende Häufigkeit von dunkelblau nach hellblau. Deutlich sichtbar sind Interferenzen im Molarenbereich distal, die in ihrer Lokalisation den zentrischen Frühkontakten (Abb. 5) entsprechen.

über die Zahnflächen zu beobachten und somit einen echten Zeitbezug mit der realen Bewegung des Unterkiefers herzustellen (Abb. 7a und 7b).

Im Unterschied zu mechanischen Systemen lassen sich im realdynamischen Artikulator aber auch oral-physiologische Bewegungsmuster untersuchen, wie die okklusalen Annäherungsbereiche und -punkte bei der Kaufunktion. Die Patientin wurde hierfür angewiesen, jeweils ein frisches Gummibärchen (Fa. Haribo, Bonn) zunächst nur rechts, dann nur links und anschließend (nach der Eingewöhnungsphase) auch „frei" bzw. ohne spezielle Anweisung zu kauen. Direkt „live" lassen sich die Bewegungen am Bildschirm verfolgen. Für die Analyse mit Blick auf die Optimierung einer Okklusion ist von Bedeutung, in welcher Weise okklusale Kontakte kaufunktionell „interferieren" und den harmonischen Bewegungsablauf beeinträchtigen können. Für eine solche Analyse schlagen wir eine besondere Darstellung kaufunktioneller Annäherungsbereiche bzw. -kontakte mit Zeitbezug vor.

Es wird die Häufigkeit, mit der unmittelbare Annäherungen und Kontakte bei Kautätigkeit beim Schließen auftreten, farblich markiert: rot die häufigsten 10 % und dann in absteigender Häufigkeit die Kontaktstellen von dunkelblau nach hellblau gestuft. Ganz deutlich fokussieren sich die „häufigen" Kontaktareale distal genau dort, wo die zentrischen Frühkontakte und Hyperbalancen lokalisiert wurden (Abb. 8).

Gerade in dieser Auswertung zeigt sich die besondere Qualität, die mit Analyse des „Okkludierens" mit physiologischen Bewegungsmustern im realdynamischen Artikulator erreicht werden kann. Je nach Aufgabenstellung und Indikation lassen sich diese Methoden erweitern und ergänzen, insbesondere durch die Ankopplung der DVT-Welten.

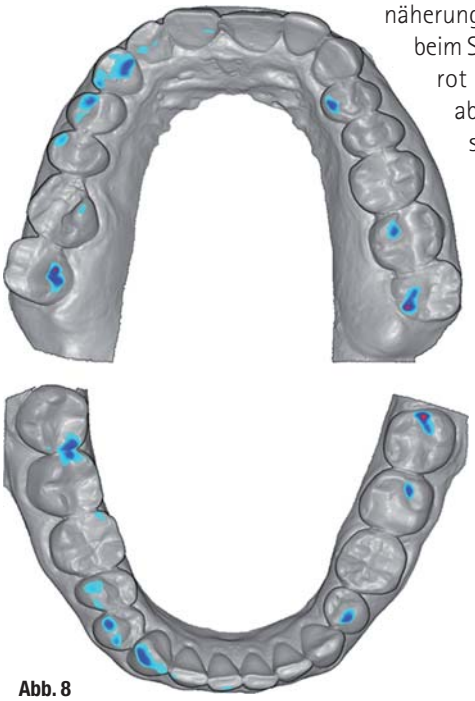


Abb. 8

_Fazit

Realdynamische VR-Artikulatoren sind keine „Artikulatoren" im herkömmlichen Sinne mehr, sondern Systeme, die auf das individuelle Bewegungsmuster des Patienten zielen und es mit aktuellen Methoden (3-D-Scanner, 3-D-Bildgebung etc.) biomechanisch und physiologisch korrekt wiedergeben (z.B. bei Kaufunktion, Sprechfunktion etc.). Fließen all diese Daten in einer Software zusammen, gewinnt der „Digitale Patient" konkret an Konturen. Ein „Programmieren" des Artikulators entfällt – das Bewegungsmuster entspricht der klinischen Situation des Patienten. In diesem Sinne mag denn auch der Satz, der „Patient sei der bessere Artikulator", Gültigkeit haben, weil mit dem anatomisch-realdynamischen VR-Artikulator klinische Relevanz mit überragender Visualisierung und Analyse am Computerbildschirm gekoppelt sind._

_Kontakt

digital dentistry

Prof. Dr. Bernd Kordaß
Abteilung für Digitale Zahnmedizin – Okklusions- und Kaufunktionstherapie
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Walther-Rathenau-Str. 42a
17475 Greifswald
Tel.: 03834 867162
kordass@uni-greifswald.de
www.medizin.uni-greifswald.de

Infos zum Autor

Literaturliste

in Kooperation mit: ZAHNLUCKEN ALLE FREIEN STELLEN DER ZAHNHEILKUNDE

» Neu: Jobbörse auf ZWP online

Schnell und einfach – Mitarbeiter oder Traumjob unter www.zwp-online.info/jobsuche finden