Digitale Okklusion – heute und künftig

CAD/CAM-gestützte Funktionsberechnung verbessert Rekonstruktions-Ergebnis.

Auf dem 14. Keramiksymposium der AG Keramik, das zusammen mit den Jahrestagungen der DGÄZ, DGZ und anderen Fachgesellschaften der DGZMK stattfand, beschrieb Prof. Dr. Bernd Kordaß, Universität Greifswald, die aktuellen Möglichkeiten und die Zukunftsperspektiven der CAD/CAM-gestützten Okklusionsgestaltung.

Die Okklusion ist ohne Frage ein wichtiges Fundament für alle Restaurationen. Wenn zahnärztliche Versorgungen okklusal nicht ausreichend funktionell und individuell angepasst werden, können iatrogen verursachte Dysfunktionen mittel- und langfristig die Folge sein. Bei CAD/CAM-Lösungen in der Zahnmedizin und Zahntechnik ist, insbesondere wenn größere, mehrere Zähne umfassende restaurative Arbeiten erfolgen sollen, eine Darstellung der dynamischen und statischen Okklusion im Computer unerlässlich. Bislang war CAD/CAM okklusal primär auf Einzelzahnrestaurationen fokussiert. Hier können durch geschicktes Einschleifen unmittelbar nach Eingliederung gröbere Interferenzen entfernt werden – vorausgesetzt, die anatomische Struktur der einzugliedernden Kauflächen korrespondiert einigermaßen mit der Gegenbezahnung. Wenn jedoch größere, mehrere Zähne umfassende restaurative Arbeiten im CAD/CAM-Verfahren gefertigt werden, ist eine Darstellung der dynamischen und statischen Okklusion im Computer unerlässlich [14]. Aktuelle Entwicklungen sind eng verbunden mit der sogenannten „digitalen Okklusion" oder mit dem „virtuellen Artikulator" [4,11] bis hin zur „virtuellen Zahnaufstellung" für totale Prothesen [1]. Der Referent des Symposiums erwartet, dass digitale Lösungen zur Optimierung der funktionellen Okklusion mittels CAD/CAM dazu beitragen können, die durchschnittliche okklusale Qualität von Zahnersatz zu verbessern [10].

In einer kürzlich erschienenen Übersichtsarbeit wurde hervorgehoben, dass der virtuelle Artikulator zur Darstellung der funktionellen Okklusion erstmals von Kordaß und Gärtner 1999 beschrieben wurde [18,17]. Funktion und CAD/CAM ist heute eines der entscheidenden Themen für die Weiterentwicklung der computergestützten Systeme. Dabei geht es darum, die prothetisch-restaurativen Arbeiten funktionell anzupassen, damit Kau- und Beißkräfte biomechanisch so verteilt werden, dass die Arbeit protektiv im Sinne einer optimalen Strukturerhaltung wirken kann. Ganz wichtig ist dabei, dass sich der Patient intraoral „wohlfühlt", einen „Beiß- und Kaukomfort" empfindet und natürlich sich auch gut artikulieren kann [9,12,13].

Mit Blick auf die Funktionstüchtigkeit des Zahnersatzes ist es darüber hinausgehend wichtig, den medizinisch-interdisziplinären Aspekt nicht zu vernachlässigen und craniomandibuläre Dysfunktionen mit ihren vielfältigen Wechselbeziehungen zu neurologischen und orthopädischen Erkrankungen in das Behandlungskonzept einzubeziehen. Ganz gleich, welche Art der Fertigungstechnik für eine prothetisch-restaurative Arbeit gewählt wird, ist die Funktionstüchtigkeit des Kausystems im Vorfeld der definitiven Maßnahmen zu screenen und bei Vorliegen von Funktionsstörungen eine funktionelle Vorbehandlung einzuleiten. Die Grenzen zu CAD/CAM werden sich in Zukunft aber verwischen. Beispielsweise lässt sich aus den Daten einer digitalen, instrumentellen Funktionsanalyse eine therapeutische Zentrik generieren, die als therapeutische Kieferrelation für eine CAD/CAM-gefertigte Aufbissschiene oder für Provisorien dienen kann. Um die bisherigen Konzepte zur Ankopplung von CAD/CAM und Funktion zu beschreiben, ist es sinnvoll, folgende Aspekte zu unterscheiden:

1. Einbindung von CAD/CAM in ein generelles Konzept der funktionsorientierten Zahnmedizin. Dabei werden digitale Techniken und Methoden zur Befunderhebung und Dokumentation eingesetzt. CAD/CAM sowie alle digitalen Verfahren zur Funktionsanalyse und Funktionstherapie sind Bestandteile eines integrativen funktionsorientierten Konzeptes einer digitalen, abdruckfreien Praxis.
2. Anwendung von Verfahren der digitalen, instrumentellen Funktionsdiagnostik mit Schnittstellen für den direkten Datentransfer in ein CAD/CAM-System.
3. Spezielle Methoden und Softwarelösungen zur Generierung und Optimierung der funktionellen Okklusion [10,12].

Digitale Technologien, mit denen der Funktionszustand des Kausystems erfasst werden kann, finden zunehmend Einsatz in funktionsdiagnostisch ausgerichteten, zahnärztlichen Praxen. Dabei geht es nicht mehr nur um präzise Werte zur Einsteuerung von Artikulatoren, sondern um objektivierbare Messwerte, die den Funktionszustand des stomatognathen Systems präzise beschreiben [6].

Alle marktgängigen Systeme sind im Rahmen ihrer Einsatzgebiete und technischen Möglichkeiten geeignet, die Funktionsanalyse und Funktionsdiagnostik instrumentell zu ergänzen sowie zur differenzierten Diagnostik und Therapie beizutragen. Das Aufgabenspektrum reicht von der Bissanalyse und Bestimmung von Einstellwerten für Artikulatoren bis hin zu einer umfassenden Analyse und Quantifizierung der Unterkiefermobilität (Kapazität, Koordination und Zentrierung) sowie des Funktionszustandes des Kausystems [9].

Digitale Bestimmung der „Zentrik" | Relative okklusale Aufbisskräfte können detektiert werden mittels einer drucksensitiven Folie, die kraftabhängige Abweichungen einer im Idealfall mittenzentrierten „Schwerpunktlage" der getesteten Okklusion zu berechnen vermag. Verschiedene

Systeme arbeiten als elektronifizierter Stützstift, der eine Stützstiftschreibung der Unterkieferbewegung unter Kraftkontrolle für die Bestimmung einer therapeutischen Kieferrelation möglich macht. Damit ist ein neuer Trend angesprochen, der im Zusammenhang mit dem Einsatz von CAD/-CAM zu einer neuen, funktionellen Qualität von Zahnersatz in der CAD/CAM-Fertigung führen kann: die praxistaugliche Erfassung und therapeutische Nutzung von Messungen der Muskelaktivität. Neben der Analyse von Ermüdungserscheinungen der Kaumuskeln oder der Bestimmung von Symmetrie/Asymmetrie der Muskelaktivität wird damit indirekt eine Kraftkontrolle bei der Findung therapeutischer Bissbeziehungen möglich. Unter direkter Visualisierung der aktuellen Kondylenposition lässt sich die Kieferrelation über die computerbasierte Kondylenpositionsanalyse bestimmen. Auch Unterkieferpositionen lassen sich mittels Kondylenpositionsanalyse genauer gelenkorientiert untersuchen. Interessant für die CAD/CAM-Technologie wird es dann, wenn Kondylenpositionen in einem virtuellen Artikulator mit okklusalen Beziehungen kombinierbar sind und therapeutische Bisspositionen sowie Kieferrelationen für CAD/CAM-gefertigten Zahnersatz bis hin zu Aufbissschienen genutzt werden können [24].

Digitale Okklusion | Das Maß aller Verfahren zur Darstellung der funktionellen Okklusion ist die klinische Situation. Die Analyse in einem mechanischen Artikulator kann die klinische Situation nur annähernd wiedergeben. Starre Gipsmodelle beispielsweise können die Eigenbeweglichkeit der Zähne im Zahnbogen und die Verbiegungen der Unterkieferspange unter Beiß- bzw. Kaukraftbeanspruchung nicht nachvollziehen, ebenso nicht die Resilienz der Kiefergelenke. So ist es nicht verwunderlich, dass Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit okklusaler Kontakte bei zahngeführten Unterkieferbewegungen in einem Artikulator trotz individueller Einstellung mittels Funktionsdaten nur einen Teil der klinisch tatsächlich auftretenden Kontakte an der richtigen Stelle wiedergaben – ja sogar neue Kontakte erzeugten [27,28].
So notwendig der Artikulator für die Herstellung von Zahnersatz und okklusalen Restaurationen auch ist, so sehr muss man um seine Grenzen wissen und die klinische Kontrolle der Okklusion sorgfältig vornehmen [11,15]. Dafür dienen üblicherweise verschiedenfarbiges Kontaktpapier, Okklusionsfolien oder spezielle Wachse zur klinischen Darstellung okklusaler Kontaktmuster.

Ein System, das vor allem die Dokumentation der genauen Lokalisation okklusaler Kontakte in Stärke und Ausdehnung zum Ziel hat, ist das GEDAS-System (Greifswald Digital Analyzing System, Universität Greifswald) [7]. Extrahartes additionsvernetztes Silikon mit Transparenzeigenschaften wird in dünnen Schichten auf die Zahnreihen appliziert; der Patienten schließt anschließend den Unterkiefer in Interkuspidation und hält den Aufbiss solange fixiert, bis der Abbindevorgang abgeschlossen ist. Eine Software steuert einen Flachbettscanner mit Durchlichteinheit an. Die Registrate werden zunächst im Durchlicht (Transparenzmodus) zur Darstellung der okklusalen Kontaktstellen, anschließend im Auflicht zur Darstellung der Zahnkonturen gescannt. Beide Bilder werden miteinander „gematcht" (Abb. 1a). Zukünftig kann die Auswertung auch die Kontaktstärke und Kontaktverteilung als 3D-Information liefern (Abb. 1b). Die Untersuchungen mit diesem System zeigen, dass Anzahl und Ausdehnung okklusaler Kontaktpunkte abhängig sind von der Kraft, mit der die Zähne aufeinander gepresst werden. Je stärker zusammengebissen wird, desto mehr Kontakte entstehen und desto größer sind die Kontaktflächen. Zudem kann auf diese Weise dokumentiert werden, ob das klinische okklusionsbezogene Ergebnis mit demjenigen, das mit dem CAD/CAM-System am Computerbildschirm gestaltet wurde, mit der klinischen Situation der eingesetzten Arbeiten übereinstimmt [12,16,15].

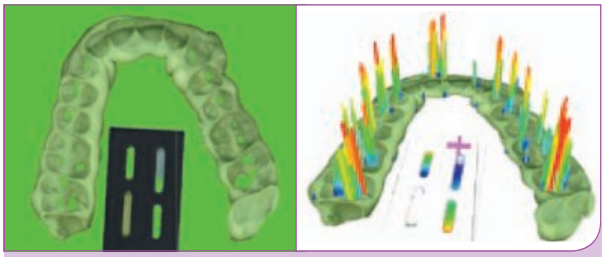


Abb. 1a u. b: Darstellung der erkannten Kontaktpunktareale in (a) grüner Farbe zum Auszählen der Kontakte je Zahn und (b) als 3D-Balken je nach Durchleuchtungsstärke des Registrats im „Greifswald Digital Analyzing System GEDAS".

Funktionelle Okklusion mit CAD/CAM | Da die Anwendung von CAD/CAM nicht notwendigerweise an den Einsatz computerbasierter Messtechnik zur Erfassung der Funktionstüchtigkeit gekoppelt ist und es zudem an geeigneten Schnittstellen zu speziellen Messsystemen bislang mangelt, verfolgen CAD/CAM-Systeme spezielle Lösungswege, um eine funktionelle Okklusion mittels CAD/CAM zu realisieren [19,21]. Wichtigstes Ziel ist die Schaffung einer okklusalen Stabilität, d. h. eine Kauflächengestaltung mit allseitigen, gleichzeitigen und gleichmäßigen Kontakten aller Seitenzähne, die zum einen die Orthofunktion des Kauorgans wie Abbeißen, Kauen, Schlucken, Sprechen etc. unterstützt, zum anderen aber auch protektiv im Sinne eines Vermeidens von Zahnwanderungen und Zahnfehlbelastungen wirken kann. Als erster Schritt vermögen CAD/CAM-Systeme eine additive, mit Modellierwachs aufgebaute Kronen- oder Brückensituation mit den gescannten Modellen der Zahnpräparation zu überlagern und so – als Differenzbild zwischen den Oberflächen der Modellation und des präparierten Zahnes – die Form der herzustellenden Krone zu generieren. Bei dieser Methode übernimmt der Zahntechniker in konventioneller Weise die funktionelle Kauflächengestaltung in einem mechanischen Artikulator. In ähnlicher Weise wird praktisch vorgegangen, wenn vor dem Präparieren eines Zahnes die Zahnform aufgenommen wird und diese als Grundlage für die spätere CAD/CAM-Form der Kaufläche dient.

Sehr häufig ist aber die ursprüngliche Kaufläche zerstört oder durch eine Vielzahl vorangegangener Restaurationen und Restaurationsversuche mit diversen Füllungen nicht mehr verfügbar und muss grundlegend erneuert werden. Als praxisorientierte Lösung wird eine Krone mit Kaufläche aus einer Datenbank eingeblendet und dem präparierten Zahnstumpf sowie dem vorhandenen Platz zwischen den benachbarten Zähnen virtuell angepasst [5]. Auch das Kauflächenrelief des Zahnes aus der Zahndatenbank lässt sich im Vergleich mit den Nachbarzähnen und den Gegenzähnen betreffend der Höckerhöhe, Höckerlage, Steilheit der Höcker und Tiefe der Fissur grob parametrisieren [29,20].
Einen besonderen Weg, aus den verbleibenden Zahnflächen oder den Kauflächen der Nachbarzähne die ursprüngliche Kauflächenform ungefähr zu generieren bzw. zu „präformieren", verfolgt das biogenerische Zahnmodell (Cerec, Sirona) [23,22]. In der Folge wird eine entweder aus der Datenbank entnommene oder biogenerisch erzeugte Restauration oder Krone solange angenähert, dabei gedreht, gekippt, verschoben und „eingerüttelt", bis sich die maximal möglichen Kontaktpunkte in optimaler Stärke eingestellt haben. Um das Ergebnis zu optimieren, werden auch die Höckerkegel einzeln positioniert [29].
Unter der Voraussetzung, dass keine okklusalen Führungsflächen aufgebaut werden müssen, kann die so erzeugte statische Okklusion dynamisch mittels FGP-Technik (Functional Generated Path) optimiert werden. Hierfür wird im Bereich der späteren Restauration eine in der Abbindephase noch weiche, aber standfeste, wachsartige Registrierpaste appliziert, in die sich bei Gleitbewegungen der Zähne die Form des Antagonisten „eingraviert". Die ausgehärtete Oberfläche gibt den dreidimensionalen, grenzwertigen Freiraum einer Bewegung der späteren Restauration wieder. Gegen dieses FGP-Registrat wird die spätere Kaufläche modelliert bzw. Störkontakte der Gleitfunktion „virtuell" eingeschliffen. Solche FGP-Registrate für CAD-Anwendungen setzen funktionierende, okklusale Führungsflächen voraus und spielen bislang eher bei Einzelzahnrestaurationen oder kleineren Brückenarbeiten eine Rolle. Zukünftig ist es aber wichtig, größere Kieferabschnitte oder ganze Kiefer zu betrachten und deren Bewegungen am Bildschirm einschließlich der Kaubewegungen zu analysieren [8,26]

Virtueller Artikulator | Im Bestreben, die okkludierenden Flächen der Zähne einschließlich der Okklusion „virtuell navigierbar" zu machen, werden Softwarelösungen entwickelt, die sich im weitesten Sinne mit dem Namen „virtueller Artikulator" verbinden [11,27,28]. Naheliegend ist es, die Situation des mechanischen Arikulators softwaretechnisch zu kopieren. Solche „virtuelle Artikulatoren" haben vergleichbare Steuerelemente, mit denen gelenkbezügliche Werte eingegeben werden können. Die individuelle Situation der Modellmontage wird bei solchen Systemen in der Regel so gelöst, dass die Modelle zunächst mit einem Gesichtsbogen schädelgelenkbezüglich in einem mechanischen Artikulator montiert und anschließend mit Sockel und der Sockelgeometrie dreidimensional eingescannt werden [25].
Bei einem rein virtuell arbeitenden Artikulator benötigt man im Idealfall keinen Gesichtsbogen mehr und Modelle müssten nicht mechanisch in Kieferrelation montiert werden. Es werden allenfalls kleine „Kopplungsteile" benötigt, mit denen die Referenzierung der 3D-Scans mit den Bewegungsaufzeichnungen so rationell wie möglich gelingt. Im engeren Sinne arbeitet ein solcher VR-Artikulator nicht mehr wie ein konventioneller, sondern nutzt die primären Vorteile der Software [2,3].

Mit dem Greifswald-System lassen sich die „virtuellen" Zahnreihen in Echtzeit synchron mit den Bewegungen des Patienten verfolgen, d. h. der Patient mit montierten Sensoren und der Zahnarzt können die Bewegungen einschließlich der entstehenden okklusalen Kontakte direkt auf dem Computer-

bildschirm verfolgen und einer Okklusionsanalyse zuführen (Abb. 2 u. 3). Damit ist es erstmals möglich, okklusale Kontakte wiederzugeben und zu bestimmen, wo, wann, welcher Kontakt an welchem Zahn mit welcher Stärke in welcher Verzahnung auftritt. (Abb. 4) Zudem lassen sich die Bewegungen des Unterkiefers einschließlich der Kauflächen als eine Art Hüllkurve „einfrieren". Diese Hülloberfläche (Abb. 5) bildet für jeden Bewegungszyklus die koordinative „Raumnutzung" des Unterkiefers im Vergleich zu den Kauflächen des Oberkiefers ab. Zusammengesetzt beschreiben die Hüll-

Abb. 2: 3D-Darstellung der gesamten Zahnreihen während einer Kaubewegung im 3D-Virtual Articulation System 3D-VAS.

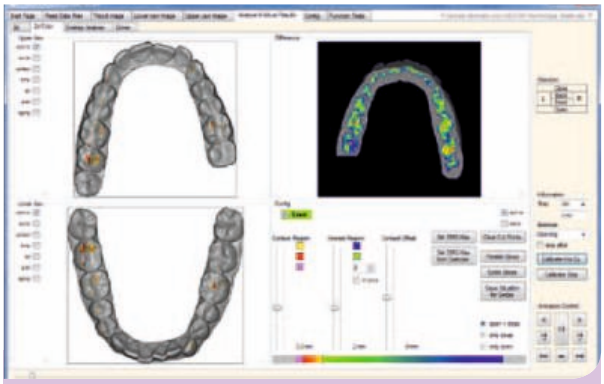


Abb. 3: Okklusale Kontaktpunkt-Darstellungen, hier in Interkuspidation.

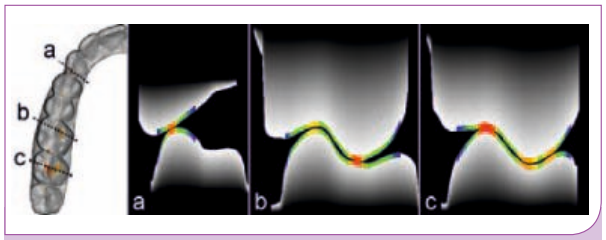


Abb. 4 a–c: Darstellung der Verzahnungsbeziehung in Profilbildern der Zähne (a) 13, (b) 16, (c) 17 mit jeweiligem Gegenzahn des Unterkiefers.

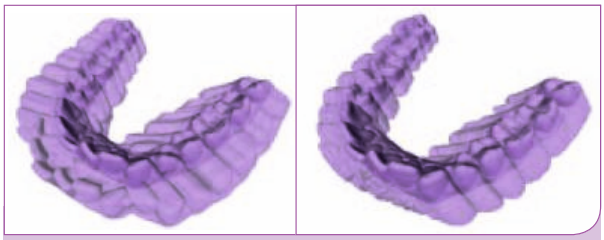


Abb. 5 a u. b: Darstellung der Einhüllenden, generiert aus realdynamisch aufgezeichneten (a) zahngeführten Bewegungen (Laterotrusion und Protrusion) sowie (b) beim Kauen eines Gummibärchens im 3D-Virtual Articulation System 3D-VAS.

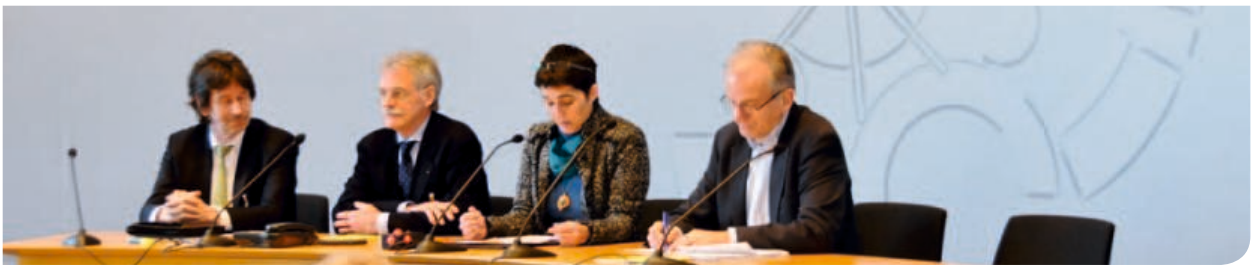
kurven den räumlich und neuromuskulär angesteuerten funktionellen „Grenzraum" des okklusalen Spaltes. Gegen eine solche Hüllkurve lassen sich CAD-erzeugte Restaurationen funktionell modellieren [27,19].

Fazit | Das Zeitalter der rein mechanistischen, an den Möglichkeiten des mechanischen Artikulators orientierten Okklusion geht zu Ende. Perspektivisch wird sich eine kommende „virtuelle" Okklusion an neuen Maßstäben orientieren müssen. Neurobiologische und neuronale Aspekte der Steuerung der Kaubewegungen und Kaukräften werden bei zukünftiger Betrachtung einer funktionellen Okklusion zunehmend wichtiger. Deshalb sollte eine optimale Okklusion kaufunktionell effektiv und interferenzfrei sein, jedoch auch Freiheitsgrade haben, die der neuromuskulären Steuerung Variabilität ermöglichen. Um die Kaufunktion zu erfassen, adäquat darzustellen und umzusetzen, sind computergestützte Techniken und „virtuelle" Methoden künftig unverzichtbar. Die optimale, virtuelle Okklusion ist eine der wichtigsten Aufgaben, denen sich die CAD/CAM-Technik heute stellen muss.

Abbildungen: B. Kordaß, S. Ruge, Centrum für Dentale Informatik und CAD/CAM-Technologie Greifswald.

Literaturliste unter www.zmk-aktuell.de/literaturlisten

Korrespondenzadresse:
Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V.
Postfach 100 117
76255 Ettlingen
info@ag-keramik.de
www.ag-keramik.de

Zahnärztliches Kinderuntersuchungsheft jetzt fester Bestandteil im gelben Kinder-Untersuchungsheft in NRW

In Nordrhein-Westfalen ist ein neues zahnärztliches Kinderuntersuchungsheft sofort fester Bestandteil im gelben Kinder-Untersuchungsheft. Darauf haben sich die vier zahnärztlichen Körperschaften, die Zahnärztekammern Nordrhein und Westfalen-Lippe sowie die Kassenzahnärztlichen Vereinigungen Nordrhein und Westfalen-Lippe mit NRW-Gesundheitsministerin Barbara Steffens und den Vertretern des Berufsverbandes der Kinder- und Jugendärzte in NRW verständigt. Auf einer gemeinsamen Pressekonferenz im November 2014 wurde in Düsseldorf der erweiterte Kinderpass vorgestellt. Der Beschluss geht auf die Initiative der Zahnärztekammer Westfalen-Lippe zurück.
Zahnarzt und Vorstandsvorsitzender der KZV Nordrhein, Ralf Wagner argumentierte, dass Kleinkinder bereits vom ersten Milchzahn an systematisch begleitet werden sollen, um Karies und andere Zahnerkrankungen erfolgreich zu verhindern. Da das gelbe Kinder-Untersuchungsheft in allen Bevölkerungsschichten sehr gut etabliert ist, stehen die Chancen recht gut auch Risikogruppen zu erreichen. Diese Maßnahme sollte für ganz Deutschland wegweisend sein.