

X	X	X	X
	Seite X	Seite X	Seite X

Dental wird digital

CAD/CAM in der Zahnmedizin wird das Handeln bestimmen. Von Dr. Helmut Dietrich und Manfred Kern.

Digitaltechnik und CAD/CAM-Verfahren haben sich in der restaurierenden Zahnheilkunde etabliert. Abdruckfreie Praxis, virtuelle Konstruktionsmodelle und Artikulation auf Windows-Oberfläche, biogene-

Die Qualität von CAD/CAM-Restorationen wurde kritisch gesehen und es gab nur wenige „Pioniere“, die sich mit diesem Thema auch wissenschaftlich auseinandersetzten. Inzwischen hat sich das Blatt gewendet.

side und im ZT-Labor hergestellt worden.¹ Durch computergesteuerte Fräsaufmaschinen ist die subtraktive Bearbeitung von Glaskeramiken und Oxidkeramiken für ästhetisch hochwertige Restaurationen mit einer

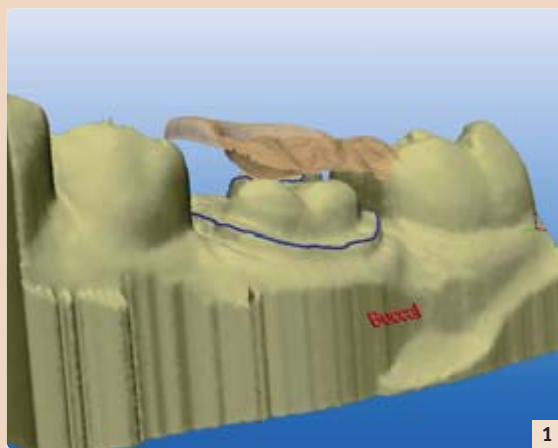


Abb. 1: Computergestützte Rekonstruktion: Scan-Daten des Antagonisten, der funktionellen Bewegung, der Lateralzähne und der Präparation fließen in die Kauflächengestaltung ein. (Foto: AG Keramik/Mehl) – Abb. 2: Zirkoniumdioxidkeramik für Kronen und Brücken kann nur mit NC-gesteuerten Fräsaufmaschinen bearbeitet werden. (Foto: 3MESPE)

rische Kauflächengestaltung durch intelligente Software, Rapid-Prototyping und 3-D-Printing sind nur ein kleiner Ausschnitt von Themen, die in letzter Zeit vermehrt in wissenschaftlichen Beiträgen oder Fachveröffentlichungen im Zusammenhang mit CAD/CAM erwähnt werden. Damit verbunden ist, dass die „konventionelle“ CAD/CAM-Technik bereits in Zahnarztpraxen, Praxislabors und Dentallabors angekommen ist und nun die nächsten Evolutionsstufen bevorstehen. Blickt man nur einige Jahre zurück, so stand die Diskussion um Passgenauigkeit, Wirtschaftlichkeit und Benutzerfreundlichkeit noch im Vordergrund.

Aus der zögerlichen und teilweise auch abwartenden Haltung gegenüber dem computergefertigten Zahnersatz ist jetzt ein etabliertes Verfahren geworden (Abb. 1). Dieser Quantensprung, computerunterstützt vollkeramische Restaurationen herzustellen, bahnte sich schon in den 1980er-Jahren an. Nur Wenige mit einem visionären Blick hatten damals eine Vorstellung von den sich anbahnenden Technologien und von den umwälzenden Therapiemöglichkeiten, die damit der Zahnmedizin bevorstanden. Seitdem sind weltweit über 28 Millionen vollkeramische Restaurationen mithilfe der CAD/CAM-Technik chair-

reproduzierbaren, konstanten Werkstoffqualität bei gleichzeitiger Kostensenkung möglich geworden. Den Impetus bezog diese Entwicklung aus zwei Quellen: Die Protagonisten der computergestützten Chairside-Versorgung wollten eine industriell hergestellte Keramik mit definierten physikalischen Eigenschaften unmittelbar an der Behandlungseinheit bearbeiten und den Patienten in einer Sitzung ohne Provisorium versorgen. Der andere Ansatz war, Zirkoniumdioxidkeramik (ZrO₂) mithilfe der digital gesteuerten Frästechnik für Kronen- und Brückengerüste nutzbar zu machen (Abb. 2).
Fortsetzung auf Seite 18 →

CAD/CAM: Neue Fokussierung auch für den Zahnarzt

Statement von Prof. Dr. Albert Mehl*



Seit einigen Jahren erlebt die dentale CAD/CAM-Technik einen enormen Entwicklungsschub. Als derzeit innovativster Bereich innerhalb der Zahnmedizin war sie der Schwerpunkt der diesjährigen IDS 2011 in Köln.

Während anfangs der Fokus mehr auf der Zahntechnik lag, rückt jetzt verstärkt auch die zahnmedizinische Praxis ins Zentrum der Entwicklungen. Eine Schlüsselrolle spielt dabei die digitale intraorale Abformung, die im Augenblick mit hoher Investitionsbereitschaft seitens der Industrie vorangetrieben wird. In diesem Bereich der Technologie – handgehaltene Systeme für die präzise 3-D-Oberflächenvermessung – ist die Zahnmedizin der Vorreiter für alle anderen technischen und naturwissenschaftlichen Fachrichtungen. Dies unterstreicht die Pionierleistung, die hinter diesen Entwicklungen steht. Während man bis vor Kurzem noch zurückhaltend in der Bewertung der Genauigkeit bei Gesamtkieferaufnahmen war, zeigen jüngste klinische Studien und auch Grundlagenuntersuchungen, dass bei einigen intraoralen 3-D-Messsystemen die Genauigkeit nicht mehr weit entfernt von konventionellen Hochpräzisionsabformmassen ist.

Die neue Fokussierung von zahntechnisch ausgerichteten CAD/CAM-Verfahren hin zu zahnarzt-

praxistauglichen Verfahren bedeutet zum einen, dass sich nun auch der Zahnarzt verstärkt mit diesen Möglichkeiten und Technologien befassen muss. Auf der anderen Seite bietet dies aber auch völlig neue Perspektiven für die Arbeitsabläufe in der Praxis. Dabei ist die CAD/CAM-Technik per se nicht nur eingeschränkt auf die Herstellung aller möglichen Arten von restaurativen Versorgung zu sehen, sondern hat inzwischen als Keimzelle für die „computergestützte Zahnmedizin“ Einfluss auf alle anderen Bereiche der Zahnmedizin wie Diagnostik, 3-D-Befunderhebung, Behandlungsplanung, digitale Archivierung etc. genommen.

Und die Ausbildung? Nur gut ausgebildete Zahnärzte und Zahntechniker können die verschiedenen Systeme und die Unterschiede der einzelnen technischen Verfahren beurteilen und deren Grenzen in der klinischen Praxis einschätzen. Genauso wie die Kenntnis der Materialkunde Sicherheit im Umgang mit den verschiedenen Werkstoffen gibt, muss nun auch die Vermittlung von Grundlagen der computergestützten Zahnmedizin Bestandteil des Lehrplans an Universitäten oder anderen Ausbildungsstätten werden.

*Wissenschaftlicher Leiter der Abteilung für computergestützte restaurative Zahnmedizin, ZSM Universität Zürich

← Fortsetzung von Seite 17

Auch andere Keramiken wie Lithiumdisilikat zeigten bessere Eigenschaften nach maschineller Bearbeitung, da die verwendeten Blanks industriell unter optimalen Bedingungen hergestellt werden. Auf der anderen Seite hat sich auch die Technologie der CAD/CAM-Systeme deutlich verbessert. Davon ausgehend, dass in den 90er-Jahren Computer leistungsfähiger und Messverfahren effektiver wurden, konnten dadurch insbesondere 3-D-Aufnahmesysteme an die Bedürfnisse der Zahnmedizin angepasst und die Bedienung vereinfacht werden (Abb. 3). Durch die Weiterentwicklung der CAD-Software wurden vielfältige Konstruktionsmöglichkeiten geschaffen und auch die Qualität der Schleif- und Fräsprozesse verbessert. Wirtschaftlichkeit bei gleichzeitig hoher Qualität der gefertigten Restaurationen sind aktuell die „Markenzeichen“ der CAD/CAM-Technik. Davon profitieren sowohl Zahnarzt als auch Zahntechniker durch standardisierte und kontrollierte Behandlungs- bzw. Fertigungsabläufe – und letztlich auch der Patient. Deshalb werden heute ca. 82 Prozent der vollkeramischen Restaurationen in Deutschland computerunterstützt hergestellt.¹ Das bedeutet, dass die CAD/CAM-Technik in Zahnarztpraxen, Praxislabors und Dental-labors angekommen ist und nun die nächsten Evolutionsstufen bevorstehen.

Adhäsivtechnik förderte CAD/CAM-Restauration

Ein wichtiger Wegbereiter des computergestützten, vollkeramischen Restaurationsverfahrens war die Adhäsivtechnik. Damit wurde es möglich, Inlays, Onlays, Teilkronen aus industriell vorgefertigter und dann individuell ausgeschliffener Silikatkeramik auch über viele Jahre für die hohen klinischen Belastungen ausreichend zu stabilisieren. Die Vorbereitung der Zahnschmelz- und Dentinätzung bzw. Dentinkonditionierung und die Herstellung eines Klebeverbundes zur Keramik mittels Silanisierung und Befestigungskomposit führte dazu, dass durch den kraftschlüssigen Verbund mit der Restzahnschmelzsubstanz Belastungen nicht punktuell mit hohen Spannungsspitzen übertragen werden, sondern die Kaukräfte gleichmäßiger und somit schonender über das gesamte System Restauration/Restzahnschmelzsubstanz verteilt werden.

Die Kombination von CAM-schleifbarer Keramik und Adhäsivtechnik ermöglichte die dauerhafte Stabilisierung selbst stark geschwächter Höcker (Abb. 4). Auf die mechanische Retention konnte in der Kavitätengeometrie verzichtet werden, weil die adhäsive Befestigung einen innigen Verbund mit dem Restzahn gewährleistet.

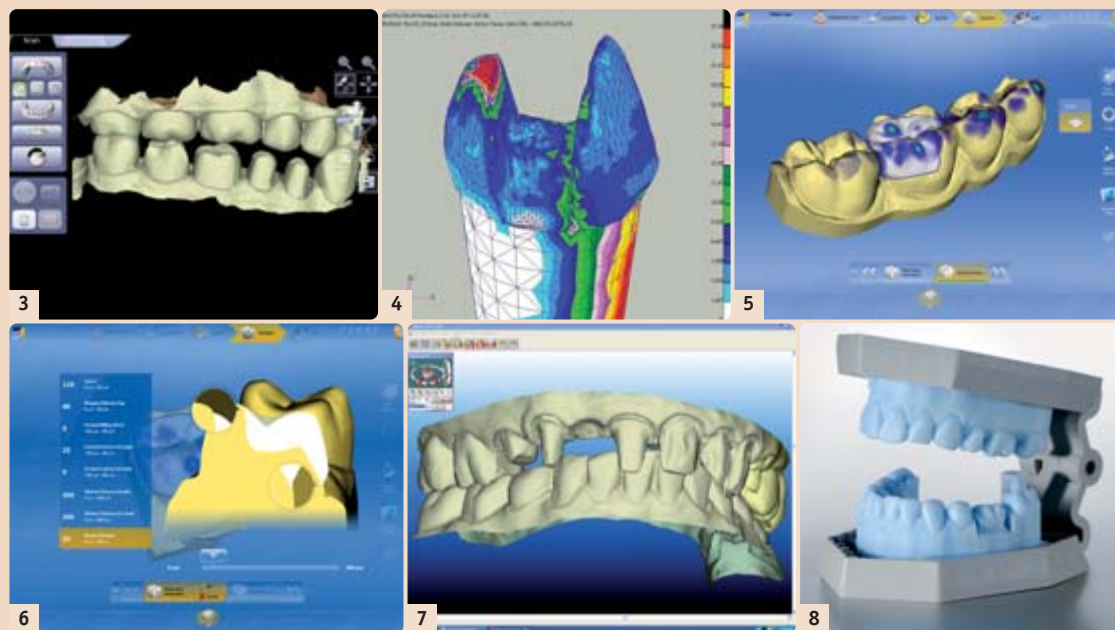


Abb. 3: Neue, intraoral arbeitende Aufnahmesysteme nutzen die Video- oder die bildgebende Lasertechnik zur Vermessung der Zahnsituation, Ausgangsbasis für die Berechnung von Digitaldatensätzen. (Foto: 3M ESPE) – Abb. 4: Finite Elemente Modell: Das Keramik-inlay (im Bild ausgeblendet) mit überkuppeltem Höcker fängt den Kaudruck ab und stabilisiert den Zahn sowie geschwächte Höcker. Stressbelastete Areale sind farblich erkennbar (rot). (Foto: AG Keramik/Mehl) – Abb. 5: Biogenerischer Algorithmus während der Berechnung einer Teilkrone. Die Morphologie der Nachbarzähne wird dabei einbezogen. (Foto: Sirona/Frank) – Abb. 6: Konfiguration und interaktive Visualisierung der Rekonstruktionsparameter wie Spacer, Randschluss, Keramikwandstärken radial, okklusal. (Foto: Sirona/Frank) – Abb. 7: Aus einer Sequenz von intraoralen Einzelscans wird ein Ganzkiefermodell gerechnet, das exakt die Präparation und die anatomischen Bissverhältnisse wiedergibt. (Foto: Straumann) – Abb. 8: Über den Datensatz stereolithografisch hergestelltes Modell. (Foto: Straumann)

Dies ermöglichte eine relativ substanzschonende Präparationsform. In diesem Zusammenhang kann seitdem defektorientiert präpariert werden – das bedeutet, dass mit der Keramikteilkrone vielfach eine metallgestützte Krone vermieden werden kann, die vergleichsweise zur Erzielung einer mechanischen Retention den zirkulären Abtrag und oftmals den Verlust selbst gesunder Zahnhartsubstanz erfordert. Der erheblich reduzierte Abtrag für die Keramikteilkrone hat wichtige Vorteile für Patient und Zahnarzt: Die Behandlung verläuft weniger traumatisch und die Risiken postoperativer Komplikationen werden verringert. Zudem wird die Lebenserwartung der restaurierten Zähne erhöht.^{2,3}

Eine wichtige Komponente zur Erzeugung von Digitaldaten sind die 3-D-Scanner, die die Präparation der Kavität oder des Kronenstumpfs

in die Konstruktions-Software einspeisen. Für die intraorale Messaufnahme stehen Verfahren wie das Phasen-Shift-Triangulationsprinzip zur Verfügung, die lichteoptisch und berührungsfrei die Präparation, Lateralflächen, Antagonisten und/oder Quetschbiss mit einer großen Tiefenschärfe und einer Messgenauigkeit von bis zu 19 µm erfassen.⁴

Mehrere Einzelaufnahmen können nahezu in Echtzeit zu einem größeren Gesamtmodell zusammengelegt werden. Extraorale Scans werden vom Modell mit optischen Laser- oder mechanischen Tastsensoren erzielt. Hierbei werden die aus verschiedenen Winkeln erzeugten Aufnahmen von der Software ebenfalls zu einem virtuellen CAD/CAM-Modell zusammengesetzt.

Die Natur als Beispiel

Bei der Aufgabe, die fehlenden Kauflächen der nach dem Präparieren verloren gegangenen Zahnhartsubstanz so wieder herzustellen, dass sich die Rekonstruktion nach statischen und funktionellen Gesichtspunkten wieder harmonisch in die vorhandene Gebissituation einfügt, leistet heute die Informatik wertvolle Hilfe. So ist es gelungen, mit einer biogenerischen Software individuelle, patientenspezifische Kauflächen für Inlays, Onlays und Kronen automatisch zu generieren (Abb. 5). Hierbei wird die erhaltene, okklusale Restzahnschmelzsubstanz mit vielen tausend hinterlegten Okklusalfächern abgeglichen.

Morphologische Übereinstimmungen bei Fissuren, Höckern, Randleisten dienen als Merkmale mit der Konsequenz, dass passende Höcker, Fossae, Fissuren und Kontaktflächenwinkel mittels einer Korrespondenzanalyse ermittelt und in die Konstruktion eingefügt werden. Anhand der Kontaktpunktverteilung und Höckerspitzen sowie Approximalkontakte kann die Software einen morphologisch ähnlichen Zahn berechnen und auf Kollision mit dem Registrat prüfen. Dieses Auffinden der natürlichen Kauflä-

che folgt erlernten Mustern und kreiert einen natürlichen, individualisierten und funktionellen Kauflächenvorschlag.⁵ Der aktuelle Stand der Konstruktions-Software ist, dass bei der Rekonstruktion von Kauflächen die Morphologie von Nachbarzähnen oder Antagonisten in die Berechnung des Vorschlages mit eingeht.

Die hohe Prozessgeschwindigkeit der neuen Computergeneration, die hohe Auflösung der digitalen Aufnahmesensoren und die Weiterentwicklung der CAD/CAM-Software ermöglichen heute Konstruktionslösungen, die das Endergebnis nach allen Gesichtspunkten der Qualitätssicherung überprüfen lassen und Zeit sowie Kosten sparen. So kann vom Zahnarzt chairside neben der Kauflächengestaltung die Mindestschichtstärke der Restauration kontrolliert, die Okklusalfäche auf den Antagonisten eingestellt, die Durchdringung von Höckern und Approximalkontakten geprüft und beliebig justiert werden, bevor der Schleifbefehl für die Schleifeinheit ausgelöst wird (Abb. 6). Diese Kontrolle kann auch an Querschnitten der Restauration, der Präparation und des Antagonisten überprüft und verändert werden.⁶ Künftig wird es auch möglich sein, die Artikulation der konstruierten Restauration statisch und dynamisch im Voraus zu prüfen und damit Nacharbeiten an der definitiven Versorgung zu reduzieren.^{7,8}

Auf der zahntechnischen Seite gehört es bereits zum Standard, dass die eingelesebenen Modellscans in der Konstruktionssoftware mit prothetischen Applikationen verbunden werden, z.B. Designvorschläge für Brückenkonnectoren, Angulation von Einschubachsen, prothetische Hilfsteile für Kombiarbeiten, Primärteile für Teleskopkronen, Geschiebe mit Schubverteiler, Suprastrukturen für die Implantatprothetik. Für Brücken sind bereits subtraktiv ausgefräste, anatomisch geformte Verblendungen zum Überpressen oder Aufsintern auf ZrO₂-Gerüsten optional möglich.⁹

Die abdruckfreie Praxis

Der Werkstisch des Zahntechnikers rückt künftig näher an die Behandlungseinheit, indem die Digitalisierung Praxis und Labor enger verzahnt. Den Schlüssel hierzu bietet die digitale Intraoralabformung und das daraus generierte, virtuelle Modell. Bei aktuell vorgestellten, neueren Systemen wird intraoral Zahn um Zahn optoelektronisch gescannt und die Einzelaufnahmen zum Quadranten oder als Ganzkiefer zusammengesetzt (Abb. 7). Insuffiziente Messaufnahmen werden automatisch erkannt und ersetzt. Der endgültige Datensatz kann über eine Funkverbindung an das Praxislabor oder über ein Internet-Portal an das ZT-Labor oder Fräslabor in das stationäre CAD/CAM-System eingespeist werden.¹⁰ Dort kann entweder virtuell eine Restauration konstruiert oder ein konventionelles 3-D-Arbeitsmodell aus Kunststoff, z.B. mittels Stereolithografie im Rapid-Prototyping-Verfahren, als Ausgangsbasis für die weiteren zahntechnischen Arbeitsschritte angefertigt werden (Abb. 8).

Die verschiedenen Konzepte der abdruckfreien Praxis können einen erheblichen Komfort bieten, weil zumindest in supragingival darstellbaren Präparationsgeometrien auf die Elastomerabformung verzichtet werden kann.¹¹ Ferner können mit der Digitaltechnik Fertigungszeiten verkürzt und die Produktivität auf der zahntechnischen Seite erheblich gesteigert werden. Hat man einmal einen 3-D-Datensatz der Zahnoberflächen abgespeichert, lässt sich damit auch eine völlig neuartige, zahnmedizinische Diagnostik durchführen, indem man die zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommenen Messdaten miteinander vergleicht, um klinische Veränderungen festzustellen.

Die vergangene IDS 2011 stand ganz im Zeichen der Digitalisierung und weitere Fortschritte wurden angekündigt. Die Vorteile liegen auf der Hand: Die CAD/CAM-Technik ermöglicht die Bearbeitung industriell gefertigter Hochleistungskeramiken, generiert Datensätze zur Fertigung von vollkeramischen Restaurationen chairside und labside, bietet dem Patienten eine schonende Behandlung, verzahnt Praxis und Labor noch enger und verkürzt die Arbeitsabläufe. Diese Ereignisse werden auch Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Zahnersatzfertigung und auf die Wertschöpfung der CAD/CAM-Anwender haben. Alle genannten Aspekte werden in Zukunft großen Einfluss auf die Abläufe der zahnärztlichen Behandlung und auf die zahntechnische Fertigung nehmen. **LI**



ANZEIGE

Kontakt



Dr. Helmut Dietrich
Oberarzt an der Poliklinik
für Zahnärztliche Prothetik,
Universität Mainz



Manfred Kern
Schriftführung Arbeitsgemeinschaft
für Keramik in der Zahnheilkunde,
Wiesbaden, info@ag-keramik.de