

CAD/CAM aus universitärer Sicht – mehr Wissen, mehr Erfahrung, mehr Sicherheit

Workshop der AG Keramik mit Universität München zeigte den Fortschritt

Fortschritt ist oft mit beträchtlichem Aufwand verbunden. Der Sprinter Carl Lewis, USA, lief während der Olympischen Spiele 1984 die 100-m-Strecke in 9,99 Sekunden. Im Jahr 2008 schaffte Usain Bolt, Jamaika, diese Distanz in 9,58 Sekunden. Das sind 0,41 Sekunden Zeitverkürzung – und ist das Ergebnis von 24 Jahren Aufwand und Fortschritt in der Sportmedizin, Bewegungslehre und Materialforschung.

Zu Beginn dieses Zeitfensters gab es noch keinen brauchbaren Personal Computer und viele Vordenker der Informatik hielten es damals mit Thomas Watson, ehemals Chef von IBM, der das Potenzial für mobile Kleinrechner weltweit sehr gering einstufte. Welch eine Fehleinschätzung! Wenn heute in 77 Prozent aller Haushalte ein PC arbeitet, so zeigt dies, dass die Computertechnik von uns als erheblicher Fortschritt empfunden wird und zu einem festen Bestandteil unseres Lebens geworden ist.

In der Zahnmedizin begann die Digitaltechnik 1985 an der Universität Zürich. Mithilfe einer Intraoralkamera, einem der ersten CCD-Sensoren, einem PC mit bildgebender Konstruktionssoftware sowie einem NC-Fräsggerät entstand das erste Inlay aus präfabrizier-

ter Silikatkeramik direkt an der Behandlungseinheit. Immense Investitionen in Hard- und Software sorgten dafür, dass in den folgenden 24 Jahren weltweit etwa 22 Millionen Restaurationen mit Computerunterstützung entstanden. Heute werden in Deutschland zirka 85 Prozent der vollkeramischen Inlays, Onlays, Teilkronen, Kronen und Brücken mithilfe der CAD/CAM-Technik gefertigt.

Die Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde (AG Keramik) begleitet die Entwicklung der CAD/CAM-Technik und der Keramikwerkstoffe seit zehn Jahren und kommentiert die klinischen Ergebnisse in der Fachöffentlichkeit, gestützt mit Erfahrungen aus einer eigenen Feldstudie in niedergelassenen Praxen. Anlässlich des 9. Keramiksymposiums und im Rahmen des Deutschen Zahnärztetages 2009 führte die AG Keramik in Zusammenarbeit mit der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik an der Universität München einen CAD/CAM-Workshop unter dem Leitgedanken „CAD/CAM trifft Keramik“ durch, um Zahnärzten und Zahntechnikern einen Überblick zum aktuellen Stand der computergestützten Restauration zu vermitteln.

Prof. Daniel Edelhoﬀ, PD Dr. Florian Beuer, Zahnarzt Peter Neumeier, die Zahntechniker Marlis Eichberger und Josef Schweiger hatten

sich zur Aufgabe gemacht, die Workshop-Teilnehmer mit den technischen und klinischen Erfahrungen mit CAD/CAM-Systemen sowie Keramikwerkstoffen vertraut zu machen. Die Poliklinik verfügt über einen repräsentativen Bestand an CAD/CAM-Systemen (*Cercon, Digi-Dent, Etkon, Everest, inLab, Lava, Procera, Zeno*), die für wissenschaftliche Projekte

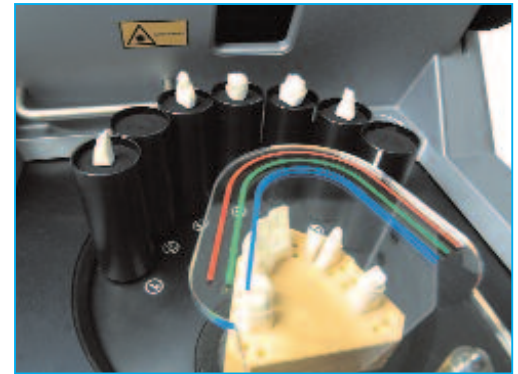


Abb. 1: Lasergesteuerter Extraoralscanner

Foto: Straumann/Etkon



Abb. 2: Laserstrahl und CCD-Bild auf gleicher Achse – der konoskopische Holografie-Scanner

Foto: Nobel Biocare



Referenten des CAD/CAM-Workshops (v. l.): ZT Josef Schweiger, Prof. Daniel Edelhoﬀ, ZT Marlis Eichberger, Zahnarzt Peter Neumann, PD Dr. Florian Beuer.

Foto: AG Keramik

und für praktische Arbeiten zur Patientenversorgung eingesetzt werden.

Stationäre CAD/CAM-Großsysteme wurden anfänglich laut Edelhoﬀ für zahntechnische Labore und Fräszentren in erster Linie für die Bearbeitung von Titan-Blanks für prothetische Gerüste entwickelt, weil die konventionelle Titangusstechnik Spezialkenntnisse erforderte, sehr aufwendig war und trotzdem Qualitätsstreuungen verursachte. Den entscheidenden Impetus für die Marktdurchsetzung bezog die CAD/CAM-Entwicklung schließlich aus zwei Quellen: Die Protagonisten der computergestützten Chairside-Versor-

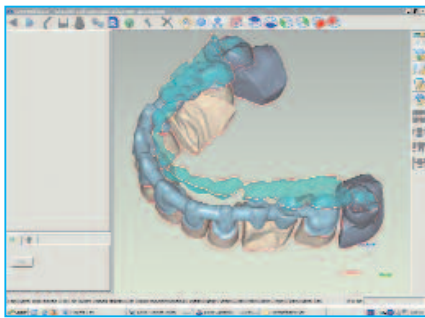


Abb. 3: Virtuelles ZrO₂-Gerüst mit projizierten Kaufflächen zum Einstellen der Kaulastverteilung

Foto: KaVo

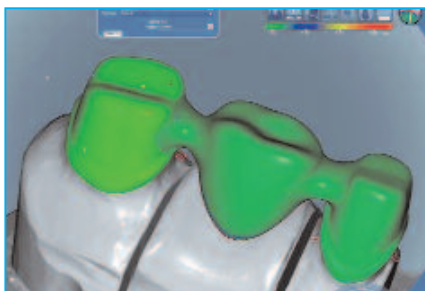


Abb. 4: Brückenkonnektoren werden entsprechend der Belastung dimensioniert.

Foto: Nobel Biocare

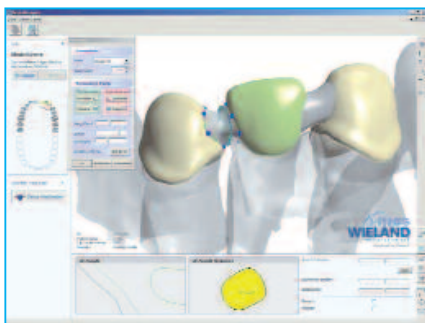


Abb. 5: Anatoform gestaltete Gerüstkörper berücksichtigen die Unterstützung der Verblendung.

Foto: Wieland

- gung 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, vorgesinterte Oxidkeramiken – zum Beispiel Zirkoniumdioxid (ZrO₂) und Aluminiumoxid (Al₂O₃) – mithilfe von Software und digital gesteuerter Frästechnik für Kronen- und Brückengerüste nutzbar zu machen. Aktuell hinzugekommen ist, dass durch die intraorale oder extraorale Messaufnahme und die virtuelle Konstruktion zusammen mit der Online-Distribution des Datensatzes die zahntechnische Werkbank organisatorisch näher an die Behandlungseinheit gerückt ist.

Unterstützung durch Adhäsivtechnik

Ein wichtiger Wegbereiter der computergestützten, vollkeramischen Restaurationsverfahren war laut Edelhoff die Adhäsivtechnik. Damit wurde es möglich, die Festigkeit von Inlays, Onlays, Teilkronen aus industriell vorgefertigter und dann individuell ausgeschliffener Silikatkeramik auf die Zahnschmelze zu übertragen. Die Vorbereitung der Zahnschmelze durch Schmelzätzung, Dentinadhäsiv, Ätzung und Silanisierung der Keramik und die Nutzung von dualhärtendem Befestigungskomposit führte dazu, dass durch den kraftschlüssigen Verbund mit der Restzahnschmelze die Restauration keine mechanische Grenzfläche mehr bot, an der rissauslösende Zugspannungen wirksam werden konnten.

Die Kombination von CAD/CAM-Keramik und Adhäsivtechnik ermöglichte die dauerhafte Stabilisierung selbst stark geschwächter Höcker. Auf die mechanische Retention konnte in der Kavitätengeometrie verzichtet werden, weil die adhäsive Befestigung einen innigen Verbund mit dem Restzahn gewährleistet. 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. Bei Nutzung von Lithiumdisilikatkeramik (LS₂) kann laut Edelhoff eine Krone als sogenanntes „Full-Veneer“ vollanatomisch mit geringen Wandstärken ausgeschliffen werden; eine Verblendung ist dann nicht erforderlich. Somit ist das Full-Veneer für eine ästhetische und wirtschaftliche Einzelzahnversorgung angezeigt.

Ein weiterer Baustein in der computergestützten Zahnmedizin sind laut Beuer die Aufnahmesysteme (Scanner), die die Präparationsarchitektur der Kavität oder des Kronenstumpfs sowie die Gegenbiss-Morphologie in

die Konstruktionssoftware einspeisen. Hierbei werden die aus verschiedenen Winkeln erzeugten Aufnahmen von der Software zu einem virtuellen CAD/CAM-Modell zusammengerechnet. Die Triangulationskamera erfasst Kavität, Kronenstumpf und Gegenbiss intraoral (Cerec), ebenso die hochauflösende Videokamera (Lava C.O.S.) – alle anderen Systeme digitalisieren die Situation extraoral am Modell durch taktiles Abtasten oder mit lichtoptischen Systemen (Laser, Abb. 1). Bei der konoskopischen Holografie arbeiten Laserstrahl und die CCD-Bildprojektion auf der gleichen Achse (Procera, Abb. 2).

Der Datensatz wird auf dem Bildschirm mit CAD-Software bearbeitet und in die „Machinesprache“ für die Fräseinheit überführt. Hierbei detektieren Kantenfinder die Präparationsgrenzen, werden Sägeschnitte mit Unterkehlungen generiert, Konstruktionslösungen mit prothetischen Vorschlägen aus der Zahndatenbank kombiniert (Abb. 3),

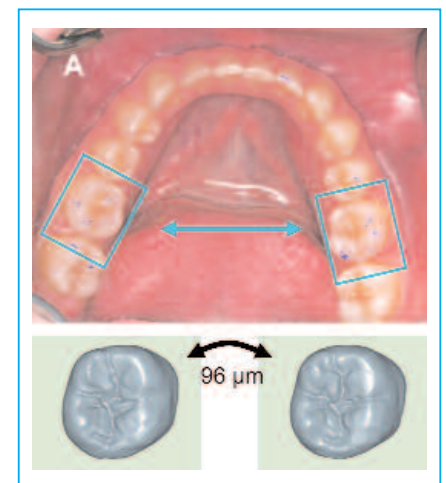


Abb. 6: Biogenerik für Kronenkaufflächen: „Zwillingszähne“ haben den gleichen genetischen Bauplan.

Foto: Mehl



Abb. 7: Der Hersteller-Barcode erschließt für ZrO₂ die Schleifstrategie, Sinterschrumpfung, Passgenauigkeit und den Festigkeitswert.

Foto: KaVo

Konnektoren eingefügt (Abb. 4), die Unterstützung der Verblendung durch anatoform gestaltete Gerüstkörper berücksichtigt (Abb. 5) sowie Kontaktpunkte auf Okklusal- und Approximalfächen justiert und mit Antagonisten auf Funktion geprüft. Die Detektion der okklusalen Restzahn-Morphologie reproduziert einen individuellen Kauflächenvorschlag für Kronen „nach genetischem Muster“ (Abb. 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. 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 zudem Zeit und Kosten sparen.

Schleifvorgang sichert klinische Haltbarkeit

Schweiger wies darauf hin, dass die computergestützten Frässysteme für vollkeramische Restaurationen unterschiedliche Schleifstrategien nutzen und auf die Original-Blanks der Hersteller abgestimmt sind (Abb. 7). Die Abläufe des subtraktiven Schleifvorgangs, das Verhalten des Werkstoffs, die Sintergeschwindigkeit bei ZrO₂, die Passgenauigkeit und die spätere klinische Haltbarkeit werden mit dem Einlesen des Barcodes sichergestellt. Beim generativen Verfahren (additiv) hingegen wird durch Lasersintern Keramik schichtweise aufgetragen und das Gerüst anatomisch aufgebaut. Laut Schweiger ist der Einsatz von vollgesintertem ZrO₂ (HIP) deutlich rückläufig. Einmal schlägt die lange Bearbeitungszeit mit dem hohen Werkzeugverschleiß zu Buche, ferner haben Messungen ergeben, dass aus ZrO₂-Weißlingen gefertigte Kronen und Brücken gegenüber HIP-ZrO₂-Restaurationen keine Differenzen in der Passung und in der klinischen Haltbarkeit aufweisen. ZrO₂-Gerüste, die im manuellen Kopierfräsverfahren (Pantograf) hergestellt wurden, wiesen laut Schweiger eine schlechtere Passung und eine kritische Gefügestuktur auf.

Die in jüngster Zeit diskutierten Verblendfrakturen (Chippings) auf ZrO₂-Gerüsten lassen

sich laut Schweiger vermeiden, wenn die Kronenkappen höckerunterstützend geformt und somit die Verblendschichten dünn gestaltet werden. Minimale Gerüstkorrekturen beim Aufpassen sollten nur mit Feinkorndiamant hochtourig unter Wasserkühlung (Laborturbine) und mit geringem Druck ausgeführt werden. Die Benetzung des Gerüsts mit Verblendmassen kann mit einer Korundstrahlung (30 bis 50 µm), aber mit geringem Strahlendruck (1,0 bar) verbessert werden. Scharfkantige Instrumente sind zu vermeiden – so ist das Bearbeiten der Brückenverbinder mit Diamantscheiben kontraindiziert.

Bekanntlich hat ZrO₂ eine geringe Wärmeleitfähigkeit; deshalb ist beim Verblendsintern eine Verlängerung der Aufheiz- und Abkühlphase erforderlich. Damit werden Temperatur- und Gefügespannungen vermieden. Versuche mit Verblendstrukturen, die aus Feldspatkeramik computergestützt geschliffen und auf das ZrO₂-Gerüst aufgesintert wurden, zeigten laut Schweiger im Kausimulator keine Neigung zu Chippings. Wenn bei der definitiven, intraoralen Eingliederung ein Einschleifen auf der Verblendung erforderlich war, ist eine Erneuerung des Glanzbrands angezeigt. Die Festigkeit der überbrannten Oberfläche liegt deutlich über einer chairside durchgeführten Politurmaßnahme.

Computergestützt restaurieren auf dem Zahnärztetag

Praktische Erfahrungen mit der CAD/CAM-Technik im Zusammenhang mit vollkeramischen Rekonstruktionen war auch Gegenstand von Referaten und Postern auf dem Deutschen Zahnärztetag. Die Messgenauigkeit von optischen Scannern (*Digiscan, Etkon ES1, Lava Scan, Everest, Zeno Scan* und andere) untersuchte Dr. Heike Rudolph, Universität Ulm, anhand von präparierten Molaren und Frontzähnen als Gipsmodelle. Alle Systeme lagen in der Messgenauigkeit sehr nah beieinander und wiesen eine mittlere Abweichung von ±15 µm auf.

Dr. Sebastian Quaas, Ulm, prüfte Passung und Randspalt von Kronengerüsten, die im additiven CAD/CAM-Verfahren (*ce.novation*) aus Zirkonoxid (ZrO₂) gefertigt wurden. Die Kronen zeigten eine gute interne und marginale Passgenauigkeit; die mittlere Abweichung reichte von 54 bis 78 µm.

Janina Geßner, Universität Homburg, untersuchte den Einfluss des Herstellungsverfahrens auf die Langzeitstabilität von ZrO₂-Keramiken. Hierfür wurden Kronengerüste aus gesintertem ZrO₂ (HIP) und teilgesintertem ZrO₂ (Weißlinge) als Ausgangsmaterial hergestellt. Die gefrästen Kronen wurden in einem Vier-Punkt-Biegeversuch im Wasserbad mit Krafraten von 0,1 bis 103 MPa/s belastet. Die Lebensdaueranalysen entsprachen Dauerbelastungen von eineinhalb und zehn Jahren. Die Festigkeitsabnahme unter Dauerbelastung wurde von einem unterkritischen Risswachstum begleitet; die Lebensdaueranalyse zeigte keine signifikanten Festigkeitsunterschiede zwischen HIP- und Weißkörperkeramik.

Die Überlebens- und Komplikationsraten von kurzspannigen Brücken aus Zirkoniumdioxidkeramik überprüfte Jana Schley, RWTH Aachen, im Rahmen einer Meta-Analyse. Es wurden nur Studien mit mindestens dreijähriger Beobachtungsdauer ausgewertet. Die Erfolgsrate bezogen auf Gerüstfrakturen lag im Zeitraum von drei bis fünf Jahren zwischen 95,2 Prozent und 100 Prozent. Komplikationen waren vor allem Chippings der Verblendung und Retentionsverlust. Biologische Misserfolge wurden durch die Notwendigkeit endodontischer Behandlungen und durch Sekundärkaries an Pfeilerzähnen ausgelöst.

Dr. Markus Stummbaum, Universität München, hatte die Belastbarkeit und Überlebensrate von implantatgetragenen ZrO₂-Brücken überprüft. Auf Implantat-Abutments wurden Galvanokappen hergestellt und diese über das ZrO₂-Gerüst konstruiert und gefräst. Die Galvanokappen wurden mit dem verblendeten Gerüst intraoral verklebt und die spannungsfrei sitzende Brücke mit Glasionomerzement auf den Abutments eingesetzt. Nach drei Jahren waren keine Komplikationen festgestellt worden. Verblendfrakturen unterschiedlicher Ausdehnung waren bei 17 Prozent der Brücken aufgetreten, ausgelöst durch mangelnde Höckerunterstützung der Verblendung und zu dicke Verblendschichten.

**Manfred Kern,
Arbeitsgemeinschaft
für Keramik in der
Zahnheilkunde e. V., Ettlingen,
www.ag-keramik.eu**