

Zahnmedizin ohne Digitaltechnik und CAD/CAM-Verfahren ist heute nicht mehr vorstellbar. Die intraorale und extraorale Messaufnahme, das Scannen von Antagonisten und Registraten, das dreidimensionale Konstruieren auf dem Bildschirm, die Nutzung unzähliger Zahnformen aus der Zahndatenbank, die Gestaltung anatomischer Kauflächen, das funktionelle Artikulieren am virtuellen Modell, die subtraktive Bearbeitung von Hochleistungskeramiken – all das wäre ohne Computereinsatz nicht möglich geworden.

# Digitaltechnik in Praxis und Labor öffnet neue Türen

Autor: Manfred Kern

Dieser Quantensprung bahnte sich schon 1985 an: Mithilfe eines Fairchild Videosensors, der damals noch militärischen Zwecken diente und deshalb eine Sondererlaubnis zur Nutzung in der Zahnmedizin benötigte, konnte erstmalig eine Präparation – intraoral mit der Triangulationskamera sichtbar gemacht –, mehrdimensional vermessen und auf den Bildschirm übertragen werden. Mithilfe eines PCs, einer bildgebenden Software und einer angekoppelten CNC-Schleifeinheit wurde das erste Inlay aus Silikatkeramik an der Universität Zürich ausgeschliffen.

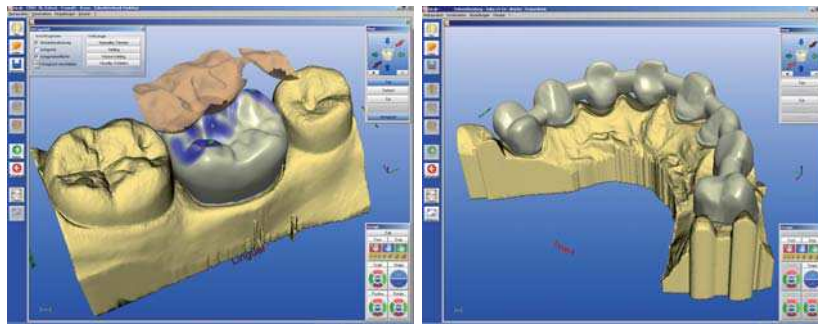
Nur wenige Eingeweihte hatten damals eine Vorstellung von den sich anbahnenden

Technologien und von den umwälzenden Therapiemöglichkeiten, die damit der Zahnmedizin bevorstanden. Seitdem sind weltweit über 28 Millionen vollkeramische Restaurationen mithilfe der CAD/CAM-Technik chairside und im ZT-Labor hergestellt worden. Durch computergesteuerte Fräsautomaten ist die subtraktive Bearbeitung von Glaskeramiken und Oxidkeramiken für ästhetisch hochwertige Restaurationen mit einer reproduzierbaren, konstanten Werkstoffqualität bei gleichzeitiger Kostenoptimierung möglich geworden.

Blickt man nur einige Jahre zurück, so stand die Diskussion um Passgenauigkeit, Wirtschaftlichkeit und Benutzerfreundlichkeit

noch im Vordergrund. Die Qualität von CAD/CAM-Restaurationen wurde kritisch gesehen und es gab nur wenige „Pioniere“, die sich mit diesem Thema auch wissenschaftlich auseinandersetzten. Inzwischen ist aus der zögerlichen und teilweise auch abwartenden Haltung gegenüber dem computergefertigten Zahnersatz ein akzeptiertes Standardverfahren geworden.

Aus technischer Sicht trieben neben leistungsgesteigerten Mikroprozessoren besonders CCD-Bildsensoren mit auflösungsstarken Fotodioden sowie optische und taktil arbeitende Scanner die Entwicklung der dreidimensionalen Bilderfassung voran, um Präparation und Modell zu „lesen“ und in die Software zu laden. Die Impulskapazität zur Reproduktion der Zahnoberflächen erreicht bei Laserscannern inzwischen eine Geschwindigkeit von vielen Tausend Messpunkten pro Sekunde. Weiterentwickelte CAD-Software mit 3-D-Grafikapplikationen übernimmt die digitalen Signale und formt daraus die klinische Situationsoberfläche, die sie mittels einem okklusalen „Settling“ mit präformierten Kauflächen aus der Zahndatenbank virtuell ergänzt. Die Höcker der Kaufläche werden in ihre okklusale Position „eingerüttelt“. Ein Artikulationsprogramm übernimmt die okklusalen Merkmale von



**Abb. 1:** Virtuelle automatische Rekonstruktion: Die Scandaten des Antagonisten, der funktionellen Bewegung, der Nachbarzähne und der Präparation können in toto berücksichtigt werden, um eine nach allen Regeln passende Kaufläche zu gestalten. (Foto: Mehl) – **Abb. 2:** CAD-Konstruktion eines weitspannigen ZrO<sub>2</sub>-Brückengerüsts. Die Konnektoren werden vom System auf Mindeststärke und Belastbarkeit geprüft. (Foto: Mehl)



# Es ist eine Perfecta Welt



Grenzenlose Fantasie ist unentbehrlich für Ihre Arbeit. Täglich müssen Sie kreative Visionen entwickeln und umsetzen. Dort – bei der Umsetzung Ihrer kühnsten Ideen – haben unsere Entwickler angesetzt. Und das derzeit beste Laborwerkzeug für Sie entwickelt. Die neue Perfecta ist da! Jetzt mit extra starkem 100.000 U/min Motor: Für perfekte Bearbeitung von Zirkon. Wobei übrigens so wenig Arbeitsgeräusch entsteht, dass Sie Ihr Kundentelefon jederzeit hören ... Ab jetzt lebt und arbeitet jeder von uns in einer Perfecta Welt. Wo der Fantasie keine Grenzen gesetzt werden.



Jetzt bei Ihrem Dentaldepot oder  
W&H Deutschland, ☎ 08682/8967-0 oder unter [wh.com](http://wh.com)

perfecta 900



**Abb. 3:** Intraorale Einzelaufnahmen werden anatomisch korrekt zu einem virtuellen Quadranten-Modell zusammengefügt. (Foto: Sirona)

Antagonisten und Nachbarzahn-Kauflächen und erzeugt ein Kontaktpunktmuster, das die Kriterien der individuellen Funktion erfüllt. Ein zusätzlich gewonnenes, regionales FGP-Registrierat spürt Störstellen des freien Gleitraums auf und reduziert diese automatisch (Abb. 1).

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, Oxidkeramiken – z. B. Zirkonoxid ( $ZrO_2$ ) – mithilfe der CAD/CAM- bzw. digital

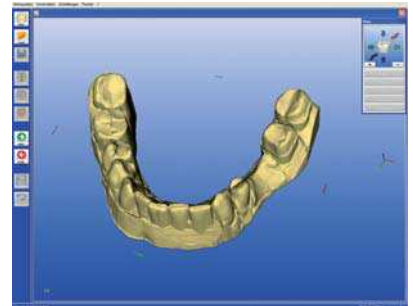
gesteuerten Frästechnik für Kronen- und Brückengerüste nutzbar zu machen.

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, konnte dadurch insbesondere 3-D-Aufnahmesysteme an die Bedürfnisse der Zahnmedizin angepasst und die Bedienung vereinfacht werden. Durch die Weiterentwicklung der CAD-Software wurden vielfältige Konstruktionsmöglichkeiten geschaffen (Abb. 2) und auch die

Qualität der Schleif- und Fräseinheiten verbessert. Wirtschaftlichkeit bei gleichzeitig hoher Qualität der gefertigten Restaurationen sind aktuell die „Markenzeichen“ der CAD/CAM-Technik. Davon profitiert der Zahnarzt und Zahntechniker durch standardisierte und kontrollierte Behandlungs- bzw. Fertigungsabläufe – und letztlich



**Abb. 5:** Zur Bearbeitung von  $ZrO_2$ -Keramik für Kronen- und Brückengerüste verfügen Fräszentren über eine ausgeklügelte Qualitätssicherung. (Foto: etkon-Straumann)



**Abb. 4:** Der intraorale Kamerascanner ermöglicht lichteoptische Ganzkiefer-Abformungen – Wegbereiter der abdruckfreien Praxis. (Foto: Wiedhahn)

auch der Patient. Deshalb werden heute ca. 82 Prozent der vollkeramischen Restaurationen in Deutschland computerunterstützt hergestellt. Das bedeutet, dass die CAD/CAM-Technik in Zahnarztpraxen, Praxislaboren und Dentallaboren angekommen ist und nun die nächsten Evolutionsstufen bevorstehen.

### Wo stehen wir heute?

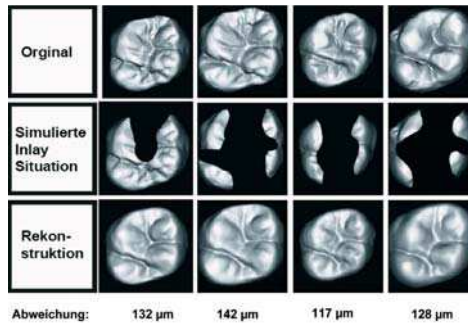
Neue Verfahren verändern bisherige Prozessschritte, Weiterentwicklungen vereinfachen Arbeitsabläufe. So sind virtuelle Konstruktionsmodelle, Artikulation auf Windows-Oberfläche, biogenerische Kauflächengestaltung durch intelligente Software, Rapid-Prototyping und 3-D-Printing nur ein kleiner Ausschnitt von Themen, die in letzter Zeit vermehrt in wissenschaftlichen Veröffentlichungen im Zusammenhang mit CAD/CAM erwähnt werden. Nun steht als neuester Entwicklungsschritt die abdruckfreie Praxis vor der Tür. Die bevorstehende IDS 2009 wird uns zeigen, dass die intraorale 3-D-Vermessung zumindest teilweise die abdruckfreie Praxis ermöglichen wird (Abb. 3 und 4). So können Daten einer intraoralen Aufnahmesequenz, z. B. eines Quadranten, mithilfe eines wachsverarbeitenden 3-D-Printers im Rapid-Prototyping-Verfahren Arbeitsmodelle für die Zahntechnik produziert werden, auf denen konventionell oder im CAD/CAM-Verfahren Zahnersatz gefertigt wird. Intraorale Scans lichteoptischer Situationsabformungen können vom Zahnarzt über Internet-Portale an den Zahntechniker gesandt werden, um in das stationäre CAD-System eingespeist zu werden. Die verschiedenen Konzepte der abdruckfreien Praxis bieten einen erheblichen Komfort, weil der Abdruck mit Würgereiz





**Abb. 6:** Fräszentren sind auf standardisierte Fertigungsverfahren unter besonders wirtschaftlichen Gesichtspunkten eingestellt. (Foto: Heraeus Kulzer)

entfällt, Fertigungszeiten verkürzt und die Produktivität auf der zahntechnischen Seite erheblich gesteigert werden kann. Worauf wird sich nun der aktuelle CAD/CAM-Trend konzentrieren? Wer sich mit der Thematik eingehend beschäftigt, konnte schon sehr früh voraussehen, dass Fertigungszentren eine entscheidende Rolle spielen würden: Hohe Auslastung, spezialisiertes Personal, zentralisierte Materialbeschaffung und hohe Qualitätsmaßstäbe an die „Standardversorgung“ ermöglichen einen wirtschaftlichen Durchsatz, der die Amortisierung der Investitionen in hochentwickelte Fertigungsmaschinen ermöglicht und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit erhöht (Abb. 5 und 6). Mittlere und kleinere ZT-Labors werden ihre Kernkompetenz in der computergestützten Herstellung hochwertiger, ästhetischer Restaurationen und in der Spezialanfertigung im Bereich der Teilprothetik und Implantatprothetik nutzen. Ein weiterer Trend ist die computergestützte Fertigung von Inlays, Onlays, Teilkronen und Einzelkronen im Chairside-Verfahren oder unter Einbeziehung des Praxislabors mit CAD/CAM-Ausrüstung. Die biogenerische Kauflächengestaltung ermöglicht die Rekonstruktion der fehlenden Kaufläche bei Inlays, Onlays und Teilkronen nach dem Vorbild der Natur (Abb. 7). Der Nutzen bei der einmaligen Sitzung ist die Zeitersparnis für den Patienten und die Einsparung des Provisoriums, was zusätzlich die potenzielle Gefahr der Höckerfraktur, der Schmelzrandabplatzung und die Schwächung der Dentinhaftung minimiert. CAD/CAM und Vollkeramik werden oft in einem Atemzug genannt, was auf der anderen Seite aber auch viel zu kurz greift. Gerade das enorme Potenzial, das in der Fräsbearbeitung und seit Kurzem



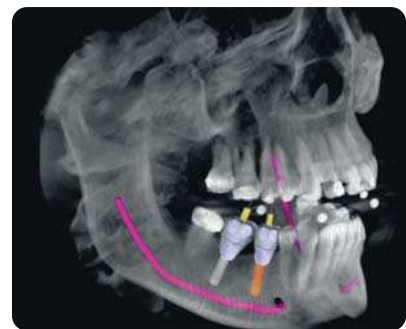
**Abb. 7:** Automatische Rekonstruktion von Inlaykavitäten mittels des biogenerischen Zahnmodells. Oben: Unversehrter Originalzahn. Mitte: Kavität. Unten: Nur anhand der Restzahnsubstanz (Mitte) automatisch rekonstruierte Kaufläche. Die angegebenen Abweichungen sind die metrischen Unterschiede zwischen Rekonstruktion und Originalzahn im Bereich der Kavität.

(Abb.: Mehl)

auch im Lasersintern von Metallen steckt, wird oft völlig vergessen. Die Herstellung von Metallrestaurationen (z. B. NEM, Titan) wird daher ebenfalls über kurz oder lang eine Domäne der CAD/CAM-Technik werden. Oder nehmen wir das weite Feld der Implantologie und deren Suprastrukturen. Schon heute können Langzeitprovisorium, Abutment und Krone computerunterstützt hergestellt und Behandlungsabläufe reduziert werden. Die digitale Volumentomografie (DVT) bildet die Struktur des Knochens dreidimensional ab und ermöglicht dadurch eine deutlich höhere Qualität der Befundung, verbunden mit der exakten Ortung des Nervus alveolaris. Die Bildqualität ist besonders bei prothetisch teilversorgten Kiefern besser als bei CT-Aufnahmen; die dafür benötigte Röntgendosis ist deutlich geringer. Somit liefert das DVT die Basis für die chirurgische Planung des Implantates. Künftig wird mit der digitalen Messkamera intraoral das Implantatgebiet und die angrenzenden Nachbarzähne gescannt und ein virtuelles Modell gerechnet. Dieses Modell wird vom 3-D-Volumentomogramm überlagert; es erfolgt eine exakte Positionierung einer Krone im Röntgenbild (Abb. 8). Die Position des Enossalpfeilers wird im Mittelpunkt der Kronengrundfläche und in deren Einschubrichtung vorgeschlagen. Die Situation wird auf chirurgische Realisierbarkeit überprüft. Bei Auswahl des für den konkreten Fall vorgesehenen Implantatsystems kann die Situation im 3-D-Röntgenbild komplett simuliert werden. Mit spezieller Software kann künftig auch eine Bohrschablone konstruiert werden, die stereolithografisch gefertigt, eine exakt positionierte Knochenbohrung und Implantatplatzierung sicherstellt. Überhaupt: Die Bedürfnisse der CAD/CAM-Technologie haben Themen der Grundlagenforschung beflügelt und damit auch andere Bereiche der Zahnmedizin vorange-

bracht. Universitäten und Industrie können durch Kooperation eine nützliche Symbiose bilden und diese spannende Entwicklung voranbringen und gestalten.

Bis jetzt war CAD/CAM oder computergestützte Zahnmedizin kein zentrales Thema an den Universitäten. Da wir gerade erst am Anfang stehen und das Leistungspotenzial der CAD/CAM-Technik enorm ist, wird sich das in den nächsten Jahren mit Sicherheit ändern – und hiermit wiederum auch die Ausbildung der Studierenden und indirekt auch die Behandlungsmöglichkeiten in den Praxen beeinflussen – im Interesse unserer Patienten. ◀



**Abb. 8:** DVT-Aufnahme mit überlagelter Suprastruktur zur Bestimmung der Implantatposition.

(Abb.: Bindl/Sirona)

## kontakt

Arbeitsgemeinschaft für Keramik  
in der Zahnheilkunde e.V.  
Manfred Kern  
Postfach 1001 17  
76255 Ettlingen  
E-Mail:  
info@ag-keramik.de  
www.ag-keramik.eu