Innovationen werden das Handeln bestimmen

Digitaltechnik in der Zahnmedizin

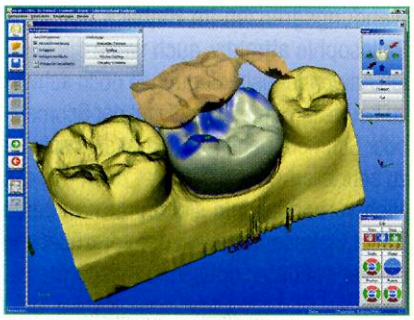

Abb. 1: Virtuelle automatische Rekonstruktion – die Scandaten des Antagonisten, der funktionellen Bewegung, der Nachbarzähne und der Präparation können in toto berücksichtigt werden, um eine nach allen Regeln passende Kaufläche zu gestalten. Foto: Mehl

Abb. 2: Fräszentren sind auf standardisierte Fertigungsverfahren unter besonders wirtschaftlichen Gesichtspunkten eingestellt. Foto: Straumann

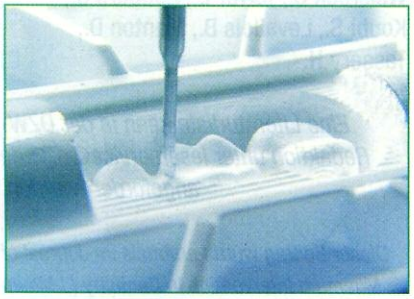

Abb. 3: Großdimensionierte Fräsautomaten liefern eine hohe Passgenauigkeit der Gerüste. Foto: 3M Espe

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 Computerunterstützung nicht möglich geworden. Dieser Quantensprung bahnte sich schon 1985 an: Mithilfe eines Fairchild-CCD-Videosensors 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-Fräseinheit 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 26 Millionen vollkeramische Restaurationen mithilfe der CAD/CAM-Technik chairside und im zahntechnischen Labor hergestellt worden. Durch die Computerunterstützung ist die subtraktive Bearbeitung von industriell vorbereiteten Silikatkeramiken und Oxidkeramiken für ästhetische, dauerhafte 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 hat sich das Blatt gewendet. Aus der zögerlichen und teilweise auch abwartenden Haltung gegenüber dem computergefertigten Zahnersatz ist ein akzeptiertes Standardverfahren geworden. Viele Unternehmen investieren inzwischen in die weitere Entwicklung dieser Technologie.

Neue Technologien

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 10.000 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 Artikulationsprogamm übernimmt die okklusalen Merkmale von Antagonisten und Nachbarzahn-Kauflächen und erzeugt ein Kontaktpunktmuster, das die Kriterien der individuellen Funktion erfüllt. Ein zusätzlich gewonnenes, regionales Functional-Generated-Path(FGP)-Registrat 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 de-

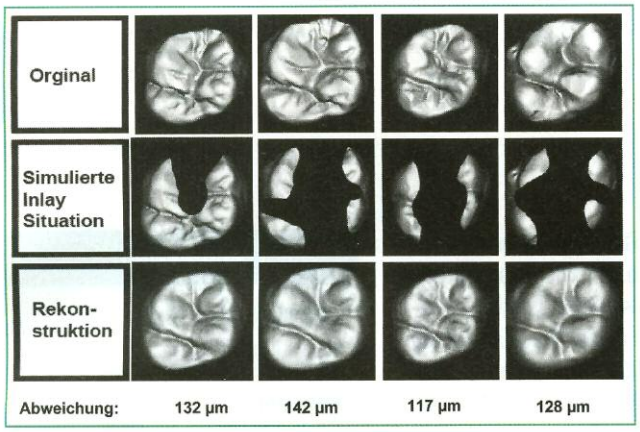

Abb. 4: Automatische Rekonstruktion von Inlaykavitäten; oben: unversehrter Originalzahn; Mitte: Kavität; unten: automatisch rekonstruierte Kaufläche; die angegebenen Abweichungen sind die metrischen Unterschiede zwischen Rekonstruktion und Originalzahn im Bereich der Kavität. *Abb.: Mehl*

finierten physikalischen Eigenschaften unmittelbar an der Behandlungseinheit bearbeiten und den Patienten in einer Sitzung ohne Provisorium versorgen. Der andere Ansatz war, Oxidkeramiken – zum Beispiel Zirkoniumdioxid – mithilfe der CAD/CAM- beziehungsweise Frästechnik für Kronen- und Brückengerüste nutzbar zu machen.

Durch die Weiterentwicklung der CAD-Software konnten vielfältige Konstruktionsmöglichkeiten geschaffen und die Qualität der Schleif- und Fräseinheiten durch Einsatz mehrerer Steuerungsachsen optimiert werden. Heute ist Wirtschaftlichkeit bei gleichzeitig hoher Qualität der gefertigten Restaurationen das „Markenzeichen" der CAD/CAM-Technik. Davon profitieren Zahnärzte und Zahntechniker durch standardisierte und kontrollierte Behandlungs- beziehungsweise Fertigungsabläufe – und letztlich auch der Patient. Deshalb werden heute ca. 86 Prozent der vollkeramischen Restaurationen in Deutschland computerunterstützt hergestellt.

Natürliche, patientenspezifische Kauflächen

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. 2 und 3).** Mittlere und kleinere zahntechnische Labore 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. Zielgruppe für dieses Konzept ist der Zahnarzt. Die biogenerische Kauflächengestaltung ermöglicht die Rekonstruktion der fehlenden Kaufläche bei Inlays, Onlays, Teilkronen und Kronen nach dem Vorbild der Natur **(Abb. 4).** Erstmalig ist es gelungen, den genetischen Bauplan von Morphologie und Okklusion zu entschlüsseln und Algorithmen zu deren Berechnung zu finden. Die Software analysiert unverwechselbare Merkmale im Zahnbild und rekonstruiert eine patientenspezifische Kaufläche. Die individuelle Okklusion sichert eine bessere Funktionalität des restaurierten Zahns **(Abb. 5).**

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 ▷

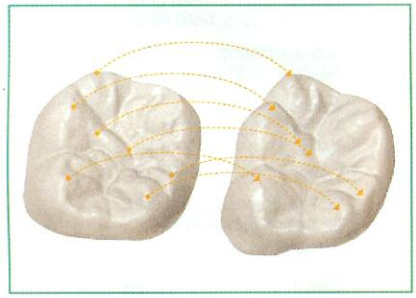

Abb. 5: Okklusale Unterschiede zwischen natürlichen Zahnmorphologien gehen in das algorithmische Modell ein; die Software rekonstruiert eine Kaufläche. *Abb.: Mehl*

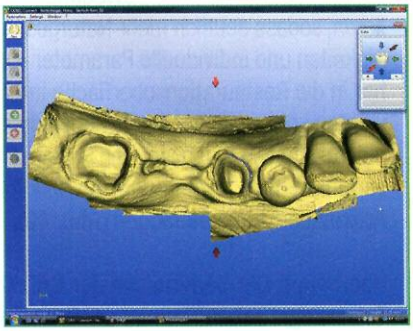

Abb. 6: Intraoral generierte, optoelektronische Abformung – Ausgangspunkt für die Modellherstellung *Abb.: Baltzer*

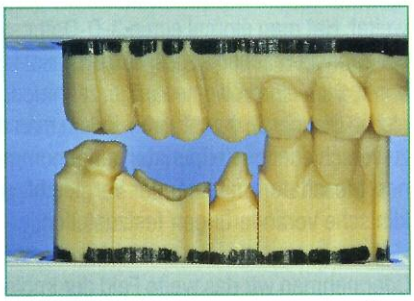

Abb. 7: Stereolithografisches Kunststoffmodell, hergestellt auf Basis des digitalen Datensatzes mit Gegenbezahnung *Foto: Baltzer*

Abb. 8: Implantatplanung – DVT-Aufnahmen mit überlagerter Suprastruktur zur Bestimmung von Implantatposition, Einschubrichtung und prothetischem Aufbau *Abb.: Ritter*

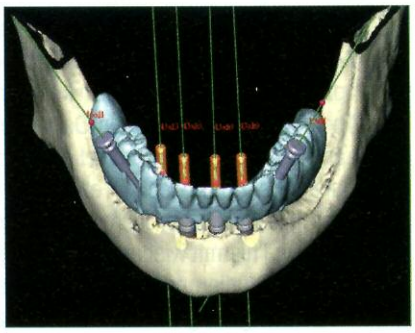

Abb. 9: Screenshot der Implantatplanung im Unterkiefer mit vier Ancor-Pins zur exakten Fixierung der OP-Schablone *Abb.: Nobel Biocare/Geiselhöringer*

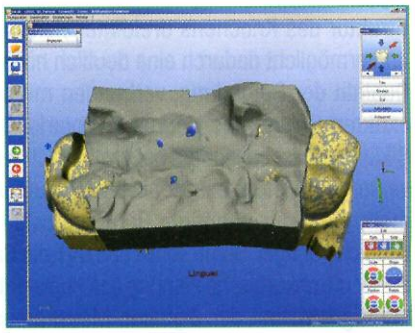

Abb. 10: Funktionelles Bissregistrat für eine Quadrantensanierung *Foto: DGCZ*

auch im Lasersintern von Metallen steckt, wird oft völlig vergessen. Die Herstellung von Metallrestaurationen (zum Beispiel aus Nichtedelmetall, Titan) wird daher ebenfalls über kurz oder lang eine Domäne der CAD/CAM-Technik werden.

Was wird kommen?

Die 3-D-Vermessung von Quadranten wird zumindest teilweise die abdruckfreie Praxis ermöglichen **(Abb. 6)**. So können Daten einer intraoralen Aufnahmesequenz mithilfe eines 3-D-Printers im Rapid-Prototyping-Verfahren zu Arbeitsmodellen für die Zahntechnik produziert werden, auf denen konventionell oder im CAD/CAM-Verfahren Zahnersatz gefertigt wird **(Abb. 7)**. Intraorale Scans lichtoptischer 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 entfällt, Fertigungszeiten verkürzt und die Produktivität auf der zahntechnischen Seite erheblich gesteigert werden kann. Die Geschwindigkeit, die Bedienung und die Genauigkeit der Aufnahmen werden laufend verbessert und der Messbereich ausgeweitet. 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.

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 Volumentomographie (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 Implantats. Künftig wird mit der digitalen Messkamera intraoral das Implantatgebiet und die angrenzenden Nachbarzähne gescannt und ein virtuelles Modell errechnet. 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 **(Abb. 9)**.

Bei kieferorthopädischen Behandlungen, bei der Analyse von Erosionen und Abrasionen, bei parodontalen Veränderungen oder Eingriffen sind so quantitative, dreidimensionale Verlaufskontrollen möglich. Ein ganz entscheidender Vorteil der computergestützten Verfahren im Vergleich zur herkömmlichen Aufwachstechnik ist auch in der funktionellen und morphologischen Kauflächengestaltung zu sehen. Komplexe Algorithmen können ein immenses Grundlagenwissen über Zahnstrukturen und individuelle genetische Zusammenhänge abspeichern. Virtuelle Artikulatoren können beliebig programmierbare Bewegungen simulieren, sodass deutlich mehr Naturgesetzmäßigkeiten und individuelle Parameter als bisher in die Restaurationsoberfläche integriert werden können. Schon heute haben die computergestützten Diagnose- und Restaurationsverfahren dazu beigetragen, die funktionelle Artikulation zu vereinfachen **(Abb. 10)**.

Überhaupt: Die Bedürfnisse der CAD/CAM-Technologie haben Themen der Grundlagenforschung beflügelt und damit auch andere Bereiche der Zahnmedizin vorangebracht. 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.

Manfred Kern, AG für Keramik in der Zahnheilkunde e.V., Ettlingen

Impressum

DZW Kompakt 5/11

Magazin (Supplement) zur Wochenzeitung „Die ZahnarztWoche"

Herausgeber
Prof. Dr. med. dent. Rolf Hinz, Herne

Redaktion
Dr. Marion Marschall (ChR.)
Marc Oliver Pick (CvD)
Karen Nathan, Birgit Strunk
Chefkorrespondent:
Dr. Karlheinz Kimmel
Grafik und Layout: Oliver Bröhl
Korrektorat: Andreas Fieberg, Hans-Georg Larmann

Redaktionsanschrift
Kurt-Schumacher-Straße 6
53113 Bonn
Telefon: (02 28) 28 92 16-0
Telefax: (02 28) 28 92 16-20
E-Mail: redaktion@dzw.de

Mit Verfassernamen gekennzeichnete Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung der Redaktion wieder. Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlags mit Quellenangaben gestattet. Die veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt.

Für unverlangt eingesandte Manuskripte, Leserbriefe, Fotos und Zeichnungen wird keine Haftung übernommen.

Verlag
Zahnärztlicher Fach-Verlag GmbH
Amtsgericht Bochum, HRB 9559
Postfach 10 18 68, 44608 Herne
Mont-Cenis-Str. 5, 44623 Herne

Anzeigenabteilung:
Telefon: (0 23 23) 59 31 37

Abonnentenservice:
Telefon: (0 23 23) 59 31 52
Telefax: (0 23 23) 59 31 55
E-Mail: anzeigen@dhug.de

GF: Prof. Dr. med. dent. Rolf Hinz
GF: Dr. Ingo-Wolfram Paeske
Verlagsleiter: Heinrich Bolz

Verkaufsleiterin Marketing Media:
Heike Müller-Wüstenfeld
Mediaberatung: Anja Hennern, Petra Javornik, Cornelia Tockenbürger
E-Mail: anzeigen@dhug.de
Leiterin Produktion: Beate Dzikowski
E-Mail: vertrieb.print@dhug.de
Abonnentenservice: Susanne Sommer
E-Mail: abo-service@dzw.de
zzt. gültige Anzeigenpreisliste Nr. 1 vom 1. Oktober 2010

III. Quartal 2011
Druckauflage: 47.000 Expl.
verbr. Auflage: 45.727 Expl.

Herstellung
Dierichs Druck + Media GmbH & Co. KG
Frankfurter Straße 168, 34121 Kassel
Postfach 10 29 80, 34029 Kassel
Telefon: (05 61) 60 28 01 63

Erscheinungsweise sechsmal jährlich, Einzelpreis 1,80 €, Jahresabonnement in Verbindung mit der Wochenzeitung „Die ZahnarztWoche" 57,– € inkl. Versand, unverbindliche Preisempfehlung.