

In einer Serie von Beiträgen wird ein Überblick zu verschiedenen relevanten Aspekten rund um das Thema Frästechnologie geboten. Die Serie beginnt mit der Vermittlung einführer Background-Informationen, um in der Folge Stichworte wie z. B. Kalkulation, Präzision, Frässtrategien etc. zu erörtern.

Ausgabe Juni 2009 – Teil I: Scanner, CAD-Software, CAM-Modul, Fertigungsmaschinen, STL

CAD/CAM \neq CAD/CAM

Redaktion (Teil 1)

Die beiden Cs in dem Begriff CAD/CAM stehen für Computer und weisen so darauf hin, dass es sich um computergestützte Verfahren handelt. Impliziert wird zudem, dass diese automatisiert mit einer numerischen Steuerung erfolgen. Die Anwendung dieser Technologien im dentalen Bereich erfolgt in der Breite erst in jüngster Zeit. Im Formenbau und in der Gravurtechnik beispielsweise fand der Umbruch auf automatische Bearbeitungsmethoden schon vor über 25 Jahren statt und stellt den Standard dar.

Hauptgrund für den späten Einzug in die Zahnheilkunde ist, dass – im Gegensatz zu den meisten anderen Industriezweigen – in der Regel Einzelstücke gefertigt werden. Hinzu kommt, dass es sich um äußerst komplexe Geometrien handelt, die traditionell durch die manuelle Vorarbeit des Zahnarztes in Form des Präparierens sowie des Zahntechnikers zur Oberflächengestaltung gemäß des natürlichen Vorbildes bestimmt werden. Weiterentwicklungen in Computertechnik und Maschinenbau ermöglichen die Umsetzung dieser komplexen Anforderungen heute jedoch in adäquater Präzision und Detailtreue.

Die Abkürzung CAD/CAM umfasst zwei feststehende Begriffe, die für zwei einzelne Module zur automatischen Bearbeitung stehen und im Folgenden näher erörtert werden.

CAD

Computer Aided Design (CAD), d. h. computergestützte Konstruktion, bedeutet, dass mittels Computersoftware ein Konstruktionsplan erarbeitet und für die Fertigung vorgegeben wird. Da die zahnheilkundlichen Aufgabenstellungen in der Regel

auf einer manuell mit Abdruckmaterial erzeugten Abformung und einem anhand dieser Negativform erstellten Gipsmodell basieren, ist ein Eingabegerät notwendig, das dem Computer die entsprechenden 3D-Daten automatisch zur Verfügung stellt. Hierzu werden zumeist optische Scannersysteme genutzt, welche die unregelmäßigen Formen des Modells 1:1 erfassen und in eine elektronische Punktwolke umsetzen (Abb. 1). Diese wird durch eine Liste von 3D-Koordinaten in einem kartesischen Koordinatensystem beschrieben, dessen drei Koordinatenachsen senkrecht zueinander stehen und so den dreidimensionalen Raum abdecken.

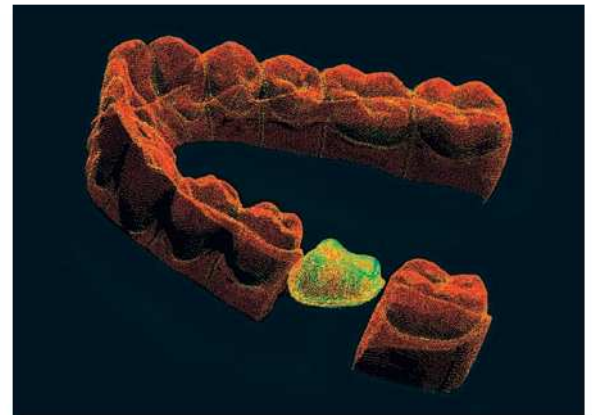


Abb. 1: Punktwolke (Bildquelle: Hint-ELS, D-Griesheim)

Als ein Pionier auf diesem Gebiet galt beispielsweise das Unternehmen etkon (D-Gräfeling), das heute zu Straumann (CH-Basel) gehört und sich seit vielen Jahren erfolgreich am dentalen CAD/CAM-Markt mit seinem System behauptet. So bietet der etkon Scanner esI laut Hersteller u. a. eine Messgenauigkeit von $< 10 \mu\text{m}$ (Abb. 2).

Die am meisten verbreiteten Dental-Scanner arbeiten mit Laserlinien oder Streifenlichtmustern (Abb. 3), die auf das Modell projiziert werden. Das Licht wird – durch die Oberflächenform des Modells



Abb. 2: Dentalscanner für die Digitalisierung von Kiefermodellen.

moduliert – reflektiert und aus verschiedenen Perspektiven von einem kamerabasierten Optiksistem erfasst, welches die Informationen an ein Computersystem leitet. Die zugehörige Software rekonstruiert anhand dieser Daten die Oberflächenform und gibt sie als Punktwolke wieder. Gespeichert wird das Ergebnis zumeist in dem Dateiformat STL (Surface Tesselation Language).

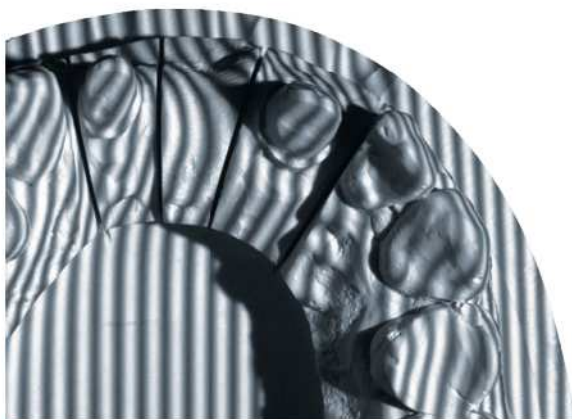


Abb. 3: Streifenlichtmuster

Im STL-Format werden Oberflächen dreidimensionaler Körper durch Dreiecksfacetten beschrieben, die jeweils durch die drei Eckpunkte beziehungsweise die durch diese definierte Flächennormale des Dreiecks charakterisiert werden. Da stets mindestens drei oder mehr Dreiecke einen gemeinsamen Eckpunkt besitzen, wird jeder Punkt mehrfach gelistet. Gekrümmte Oberflächen werden durch die Dreiecke aber nur angenähert wiedergegeben. Je genauer die Annäherung sein muss, desto mehr Einzeldreiecke sind daher nötig.

Wurden die 3D-Modelldaten erfolgreich generiert, bietet die 3D-CAD-Software Routinen, mit denen sich das Design von Versorgungen wie z. B. Kappchen, Kronen und Brücken bis hin zu komplexen Arbeiten wie Geschieben direkt am Computerbildschirm virtuell erarbeiten lässt (Abb. 4). Durch zahlreiche Hilfstools wie farbkodierte Materialstärkenanzeige, Einblendung des Gegenbisses etc. ermöglichen die Programme mittlerweile die Konstruktion sehr hochwertiger Restaurationen.

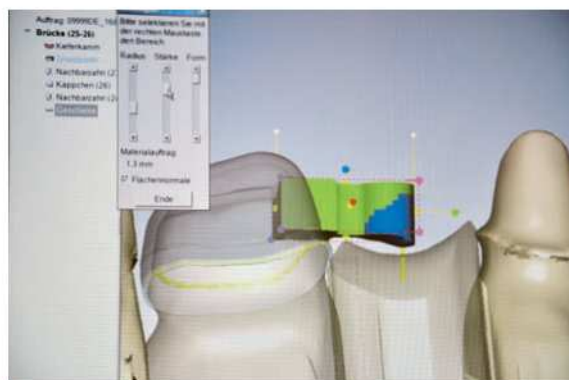


Abb. 4: Konstruktionsprozess für Geschiebearbeit.

Die so erzeugte Umfläche, d. h. die komplette Oberfläche von Außen- und Innenseite der Versorgung, kann wiederum als STL-File abgelegt werden. Eine anschauliche Wiedergabe des geplanten Objekts am Computerbildschirm ist auf Grundlage der Daten möglich, diese können jedoch noch nicht von den Fertigungsanlagen verarbeitet werden. Daher wird eine weitere Komponente, das CAM-Modul, benötigt.

CAM

Während die Bezeichnung Computer Aided Manufacturing (CAM) lange am Dentalmarkt vereinfacht mit Bearbeitungssystemen wie Fräsmaschinen gleichgesetzt wurden, ist in jüngster Zeit ein differenzierterer Umgang mit dem Begriff zu beobachten. Denn CAM bedeutet eigentlich, dass mit einem Computer ein Bearbeitungsplan für die Fertigungsmaschinen erstellt wird und so sind zu Recht die unterschiedlichen am Markt verfügbaren CAM-Programme in den Fokus des Interesses gerückt. Die Punktwolke beziehungsweise das STL-File bildet für diese die Grundlage, um die Bearbeitungsbahnen für die CNC-Maschine (Computer Numerical Control = computergestützte numerische Steuerung) festzulegen.

Dabei wird eine Strategie festgelegt nach der die Maschine die Bearbeitung möglichst ohne unnötige Verfahrswege durchführen kann. Diese kann schichtweise, zum Beispiel für Lasermaschinen, aufgebaut sein (Abb. 5), oder aber schrittweise durch Kombination verschiedener Schnittparameter für die Fräsbearbeitung ausfallen (Abb. 6). Hierzu gehören z. B. die Schrupp- und Schlichtschnitte. Durch das Schruppen erfolgt der grobe Materialabtrag bei vergleichsweise hohem Vorschub, d. h. höherer Geschwindigkeit. Das Schlichten auf die endgültige Größe wird mit weniger Vorschub durchgeführt (weniger Vorschub = höhere Genauigkeit). Wesentlich ist auch der Bahnenabstand, weil dieser die Feinheit und Präzision der Oberfläche des Werkstücks maßgeblich beeinflusst. Da auch die Bahnvorgabe an sich für die Bearbeitungsmaschine noch nicht lesbar ist, wird ein Postprozessor benötigt, der die Sprache der Maschine erzeugt (Abb. 7). Die Bezeichnung Postprozessor steht generell für Computerprogramme, welche die Ergeb-

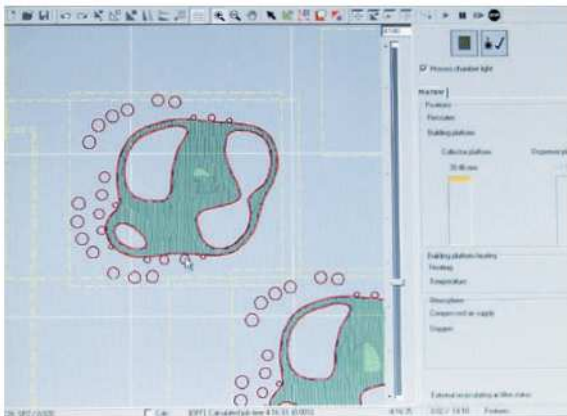


Abb. 5: Schichtansicht einer Kronenkonstruktion mit dem geplanten Weg des Laserlichts.

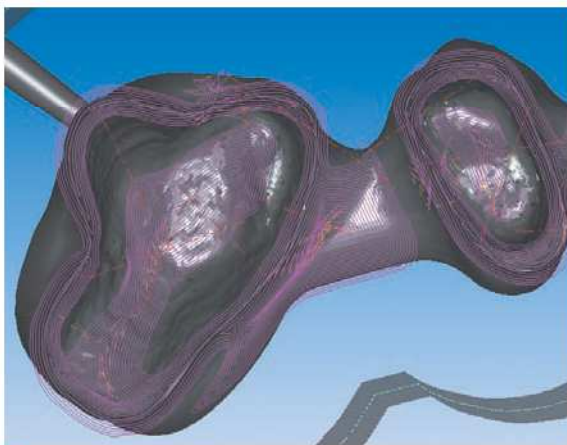


Abb. 6: Frässtrategie

nisse eines anderen Programms in ein neues Format umwandelt. Für offene Systeme hat sich in Europa die Programmierung nach DIN 66025 durchgesetzt.



Abb. 7: Bildschirmauszug eines Bearbeitungsprogramms.

Die Sprachregelung ist recht simpel gehalten und beinhaltet beispielsweise G-Befehle, die ein GO, d. h. eine Bewegung zu einem Ort beschreibt. Die Sprachen der einzelnen Bearbeitungsmaschinen unterscheiden sich durch ihre unterschiedlichen Konfigurationen. Daher muss der Postprozessor der jeweils eingesetzten Maschine angepasst werden. Bei offenen Systemen ist dies in der Regel einfach durchführbar, sodass mit einem CAM-Programm auch ganz unterschiedliche Maschinen angesteuert werden können.

Bearbeitungsmaschinen

Um 1950 entstand die erste NC-Maschine. Sie wurde von dem Amerikaner John Parsons in Zusammenarbeit mit dem Massachusetts Institute of Technology für die U.S. Airforce entwickelt. Als Numerische Steuerung werden insbesondere elektronische Geräte zur Steuerung von Werkzeugmaschinen bezeichnet, die einen Datensatz von Steuerungsbefehlen von einem Datenträger lesen, in Arbeitsbeziehungsweise Bewegungsabläufe umsetzen und nacheinander abarbeiten können. Früher wurde die Programmübergabe an NC-Maschinen mittels Lochstreifen und -karten, Magnetbändern oder Disketten durchgeführt, die Arbeitsanweisungen konnten an der Maschine selbst nicht mehr verändert werden. Während erste NC-Programme nur binäre maschinenspezifische Befehle enthielten, die zu binären Anweisungen führten, konnten später mithilfe von recht allgemein verbreiteten, aus Zahlen und Buchstaben bestehenden 8-bit-NC-Befehlssätzen bestimmte Operationen auch in der Maschine erledigt werden (lineare und Kreisinterpolation, Umrechnung einer

Distanz in Schrittmotortakte mit Hochlauf- und Bremsrampe). Gegen Ende der NC-Ära war es sogar möglich, bestimmte technologische Parameter oder Korrekturen auch an der Maschine vorzunehmen.

Das Zeitalter der CNC-Technologie setzte ungefähr Mitte der 1970er Jahre ein. Sie ermöglichte eine Rationalisierung in der Serienfertigung und Einzelfertigung durch die erheblich schnellere und dabei trotzdem sehr genaue Bewegung der Achsen und Werkzeuge. Heute sind nahezu alle neu entwickelten Werkzeugmaschinen mit einer CNC-Steuerung ausgerüstet.

Der Franzose Prof. Dr. François Duret begann bereits 1971 mit theoretischen und experimentellen Forschungsarbeiten die Nutzung von CNC-Maschinen für die Herstellung zahntechnischer Arbeiten zu erschließen und wird heute häufig als „Vater der dentalen CAD/CAM-Technologie“ bezeichnet.

Heutzutage sind viele CNC-Steuerungen verfügbar, die für den Einsatz im Rahmen der dentalen CAD/CAM-Technologie bestens geeignet sind. Prinzipiell werden zwei Gruppen von Steuerungen unterschieden. Denn auf der einen Seite stehen die Produkte namhafter Hersteller wie zum Beispiel Siemens (D-München) und HEIDENHAIN (D-Traunreut), die traditionell den Markt an Fräs- oder Lasersystemen bedienen. Auf der anderen Seite stehen PC-Systeme, die als herkömmliche Industrie-Computer die Maschinenkomponenten steuern.

Über I/O-Systeme (erfassen Messwerte aus dem Prozess und leiten sie digital an das Kontrollsystem weiter) werden z. B. Kühlaggregate geschaltet und die Achsen-Servos (Verbünde aus Ansteuerungs- und Antriebseinheit) treiben die Motoren der Maschine an. Je nach Fertigungsart bedient der Umformer (rotierende elektrische Maschine, die eine Stromart in eine andere umwandelt) die Hochfrequenzspindel mit dem Fräs- beziehungsweise Schleifwerkzeug oder aber ein HF (Hochfrequenz)-Netzteil gibt Leistung an einen Laser ab. Moderne Systeme arbeiten mit einer intelligenten Netzwerkstruktur wie Abbildung 8 zeigt.

Wie bereits erwähnt, können die Bearbeitungsmaschinen mit zwei Gattungen von Bearbeitungswerkzeugen ausgestattet sein.

Lasersysteme

Laser erlauben verschiedene Arten der Bearbeitung – z. B. das Schneiden sowie das Abtragen und Auftragen von Material (Abb. 9) – sowie deren Kombination. Allen gemeinsam ist, dass mit Laserlicht hoher Intensität das Material punktförmig



ZENOTEC T1

MIT VORSPRUNG IN DIE ZUKUNFT

Digitalisierung und CAD/CAM-Fertigung von Zahnersatz werden der zahntechnischen Arbeit eine neue Zukunft geben. Gut, wenn Sie sich mit einem laborge-rechten System selbst an die Spitze der Entwicklung setzen können: Mit ZENOTEC T1 von WIELAND fertigen Sie mit schnellsten Frässtrategien Kronen, Brücken und Modelle ganzer Zahnbögen vollautomatisch in wenigen Minuten. Gefräst wie in bester handwerklicher Qualität aus hoch entwickelten ZENO Disc Materialien:

- Auf 5 Achsen simultan in der 7-Achs-Fräseinheit
- Ganze Kiefermodelle und individuelle Abutments
- Mit 30 Blanks im Magazin für mehr als 1.000 Einheiten
- Werkzeugprüfung und -wechsel integriert
- Vollautomatisch fräsen rund um die Uhr

Entdecken Sie jetzt Ihre neue Zukunft mit ZENOTEC T1 von WIELAND, Partner der Labore!

EXPECT THE DIFFERENCE! BY WIELAND.

www.wieland-dental.de

bearbeitet werden kann. Die Wärmeentwicklung hierbei entsteht dadurch, dass das Laserlicht in den ersten Atomschichten des Werkstücks absorbiert wird. Die Wellenlänge des Laserlichts sollte an den jeweiligen Werkstoff angepasst sein, da die verschiedenen Materialien ein unterschiedliches Absorptionsverhalten aufweisen. Außerdem ist je nach Anwendung eine bestimmte Güte (Mode) des Laserlichts erforderlich.



Abb. 8: Netzwerkstruktur der Steuerungsmodule.



Abb. 9: Schichtweise Aufschmelzen von Metallpulver zu Zahnversorgungen.

Landläufig herrscht die Meinung, dass Lasersysteme sehr genau sind. Eine hohe Präzision bedingt jedoch sehr hochwertige Laserstrahlquellen, die nicht nur in der Anschaffung kostenintensiv sind, sondern auch enorm hohe Wartungskosten verursachen. Außerdem sind sehr schnelle Bewegungsapparate erforderlich, die den kleinen Laserpunkt schnell über das Material bewegen. Je höher die gewünschte Genauigkeit ist, desto kleiner muss der Bearbeitungspunkt sein. Dies versetzt den Anwender in die Zwickmühle, zwischen hoher Präzi-

sion und langer Bearbeitungszeit oder geringerer Genauigkeit bei kürzerer Fertigungszeit wählen zu müssen.

U. a. aus diesem Grund werden die Fräs- beziehungsweise Schleifsysteme im Allgemeinen bevorzugt. Mit einem Bearbeitungskörper können dabei auch große Geometrien in einem Zug problemlos und genau gefertigt werden. Für die Erzielung kleinster Konturelemente mit filigraner Detaillierung wird einfach ein feineres Werkzeug eingewechselt (Abb. 10). Je nach System und eingesetzten Werkzeugen kann jedoch auch hierbei eine geringe Vorschubgeschwindigkeit einen Wermuts-tropfen darstellen.



Abb. 10: Per Fräsverfahren können auch sehr feine Konturen erzielt werden.

Die noch relativ junge Technik HCS (High Speed Cutting = Hochgeschwindigkeitsfräsen) löst dieses Manko. Voraussetzung hierfür sind allerdings High-tech-Maschinen (und -werkzeuge), die sehr hohe Beschleunigungen ohne Präzisionsverlust durch eine vergleichsweise massive Ausgestaltung erlauben. Angeboten werden solche beispielsweise von dem Göttinger Unternehmen WISSNER (Abb. 11) (siehe auch S. 38-41 in dieser Ausgabe).

Die enorme Beschleunigungsfähigkeit von Maschinen dieser Art bietet auch in den komplexesten Figuren hohe Schnittgeschwindigkeiten. Ein Vorschub von bis zu 10 m / min ist durchaus möglich. Dank einer Vielzahl an spezialisierten Fräswerkzeugen können Materialien wie z. B. Grünkeramik, Titan und Chrom-Cobalt wirtschaftlich bearbeitet werden. Unter Einsatz von Schleifstiften ist auch die Bearbeitung von Glaskeramik und HIP-Materialien durchführbar.



Abb. 11: HSC-Maschine mit hoher Steifigkeit.

Standard?

Die Beschreibung von Objektoberflächen durch das STL-Format stellt zwar im Allgemeinen einen Industriestandard dar, in Bezug auf die Dentalbranche im Speziellen jedoch nur mit Einschränkung. Und so muss in diesem Zusammenhang auf den Unterschied zwischen offenen und geschlossenen CAD/CAM-Systemen hingewiesen werden. Denn geschlossene Systeme erzeugen Datenformate, die sich in der Regel nur mit Bearbeitungsprogrammen desselben Herstellers weiterverarbeiten lassen. Insbesondere in der Anfangszeit, als die ersten Systeme in den Dentalmarkt eingeführt wurden, versuchten die Unternehmen ihren Wissensvorsprung so zu bewahren und den Markt für sich zu reservieren. Häufig handelt es sich sogar eigentlich um das STL-Format, das dann aber extra verschlüsselt wird, um die Kompatibilität zu Produkten von Mitbewerbern auszuschließen. In der Zwischenzeit sind jedoch die einzelnen CAD/CAM-Komponenten in vielfachen Ausführungen auch frei erhältlich, sodass Anwender sie von verschiedenen Herstellern beziehen und in beliebiger Kombination einsetzen können.

Fazit

Der am Dentalmarkt übliche Begriff der CAD/CAM-Fertigung stellt insofern eine Besonderheit dar, als dass durch CAD und CAM lediglich zwei Module bezeichnet werden, die für die automatisierte Fertigung notwendig sind. Anwendergruppen anderer Industriezweige wie beispielsweise Formenbauer setzen die Fertigungstechniken zumeist konkret unter den Titel der jeweiligen Ausführungsmaschine und sprechen daher z. B. vom CNC-Fräsen oder einer HSC-Bearbeitung.

WorkNc[®]

DENTAL

Ästhetik braucht Präzision!

- Unabhängiges CAM-System
- Scandatenverarbeitung von allen Systemen
- Funktioniert mit allen Fräsmaschinen
- Optimale Nutzung des Materials
- An einem Tag erlernbar

WorkNc[®]

DENTAL

Sescoi[®]

Wir machen das Programm.

Sescoi GmbH · Tel. 06102 7144-0 · info@sescoi.de · www.sescoi.de