

Orientierung im Dschungel der digitalen Verfahren, Teil II

CAD/CAM von A bis Z

Mit der Prozesskette der CAD/CAM-Technik befasst sich Dr. Roland Strietzel. Im zweiten Teil seiner Ausführungen beschreibt er die subtraktiven und additiven Herstellungsverfahren.

Autor:

PD Dr. Roland Strietzel, Bremen

Indizes:

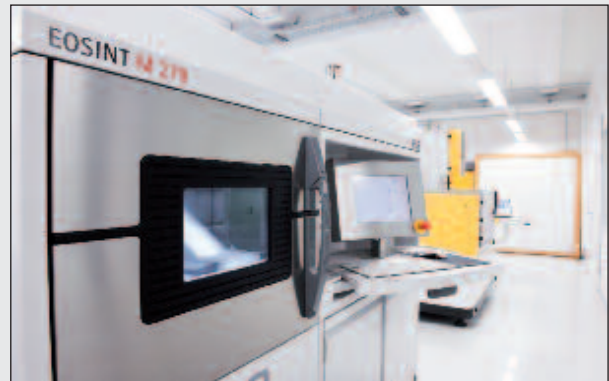
SLM-Verfahren
Galvanisches Abscheiden
Funkenerodieren
Subtraktives und additives Verfahren

SLM-Verfahren

Eine additive Methode zur Verarbeitung von Metallen ist das SLM-Verfahren (selective laser melting). Dieses Verfahren stammt aus der Familie der RP-Verfahren (rapid prototyping) [44,45] und wurde 2001 von der Firma Bego in die Zahn-technik eingeführt. Materialien waren eine aufbrennfähige hochgoldhaltige Legierung (Bio PontoStar ++), eine aufbrennfähige Cobalt-Chrom-Legierung

(Wirobond C+) sowie Titan (BegoTitan Gr. 2). Mittlerweile gibt es für diese Produktionsart nur noch das Wirobond C+. Auch beim SLM-Verfahren folgt nach dem Scannen der CAD-Schritt. Danach wird der stl-Datensatz an eine Produktionsmaschine übermittelt. Hier wird der Datensatz in eine Vielzahl von Scheiben geschnitten (Slice-Process, slice, zu Deutsch Scheibe). Für die Produkti-

©Copyright
vmm Verlag Neuer Merkur



on wird nun eine erste Lage Pulver auf eine absenkbar Plattform gebracht. Gemäß dem ersten Datensatz werden dann mit Hilfe eines Laserstrahls zunächst die Konturen der Objekte und anschließend das Innere verfestigt (Hatch-Prozess). Sind alle Flächen verarbeitet, wird die Bauplattform um die Dicke der nächsten Scheibe abgesenkt und erneut eine Pulverschicht aufgebracht. Der Prozess wiederholt sich nun so lange, bis alle Objekte fertig gebaut sind. Auf der Produktionsplattform finden – je nach Maschinentyp – mehrere Dutzend bis hunderte Objekte Platz. Ein Produktionszyklus dauert in Abhängigkeit der zu bauenden Teile und deren Höhe wenige Stunden. Wird eine Vielzahl von Objekten gebaut – wie in diesem Fall –, ist die Bauzeit pro Einheit sehr niedrig. Nicht verwendetes Pulver kann wieder verwendet werden. Da die Stützsysteme nur sehr wenig Material beanspruchen, ist der anfallende Verlust (durch Verschleifen der Stützen) gering. Das SLM-Verfahren arbeitet insgesamt sehr wirtschaftlich und hat sich fest etabliert. Durch geeignete Verfahrensparameter und nachfolgende Tempereschritte ist die Passung die dem Dentalguss mindestens ebenbürtig. Der Randspalt liegt im Bereich des traditionellen Gusses [63]. Die werkstoffkundlichen Eigenschaften von SLM gefertigten Prüfkörpern sind besser als die Eigenschaften eines Gusses [64]: Aufgrund des feinkörnigeren Gefüges und der schonenderen Materialbehandlung zeigen sich niedrigere Korro-

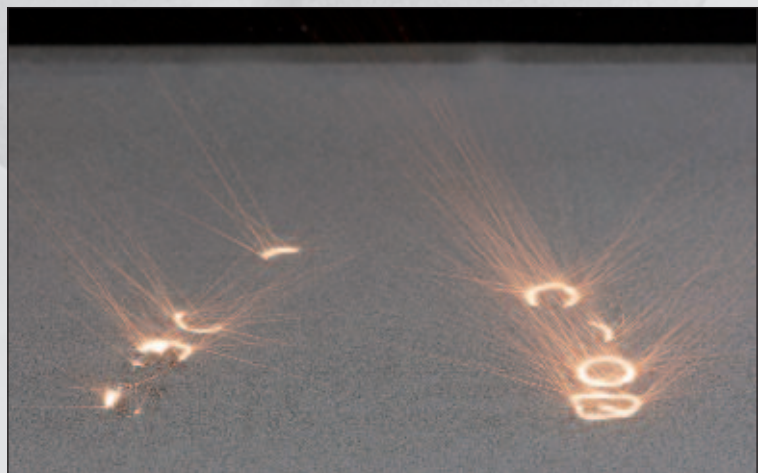
sionsraten und höhere Festigkeiten, bei chemisch identischer Zusammensetzung. Klinische Studien von mit SLM gefertigten Kronen zeigten durchweg positive Ergebnisse [53,65]. Mit dem SLM-Verfahren lassen sich Kronen und Brücken jeglicher Spannweite herstellen. Aufgrund der hügeligen Struktur (bedingt durch den SLM-Prozess) eignen sich die Objekte nicht für Anwendungen, die einer hohen Präzision bedürfen, zum Beispiel Abutments. Hier sollte auf andere Verfahren, beispielsweise das Fräsverfahren, ausgewichen werden.

Neben diversen Metallen können auch Kunststoffe und neuerdings auch Keramiken [66] mittels der SLM-Technik bearbeitet bzw. produziert werden. Auch wenn die keramischen Bauteile noch nicht serienreif sind, lässt sich ein ge-

▲ **Abb. 14 Modellgüsse nach CAD/Cast-Verfahren**

▲ **Abb. 15 SLM-Maschine der neuesten Generation**

▼ **Abb. 16 Ein Laserstrahl umfährt zuerst die Konturen der zu produzierenden Objekte. Danach werden die innenliegenden Flächen verfestigt und anschließend eine neue Pulverschicht aufgetragen**

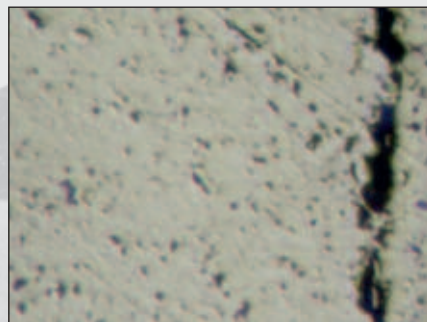




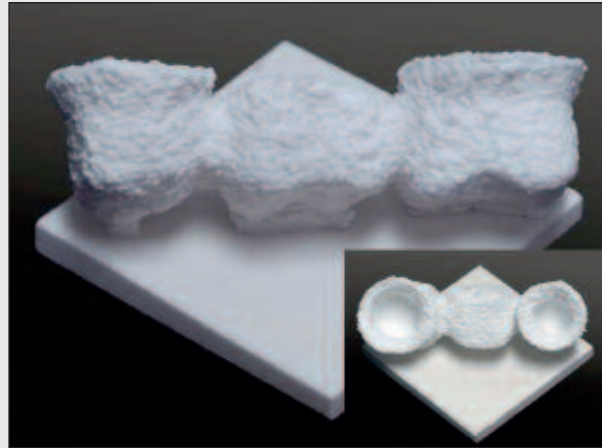
▲ Abb. 17 Gefertigte Brückengerüste direkt nach der SLM-Produktion

▲ Abb. 18 Experimentelle Brückengerüste direkt nach der SLM-Produktion aus modifiziertem Zirkoniumdioxid

▲ Abb. 19 Schliffbild einer elektrolytisch abgeschiedenen und anschließend unter Argon-Atmosphäre gesinterten Krone aus einer Cobalt-Chrom-Legierung



wisses Potential erahnen. Weitere mögliche Anwendungen der SLM-Technik liegen in der Produktion von porösen Bauteilen oder speziellen Beschichtungen. Besonders die Implantologie bietet hier ein großes Entwicklungsfeld an. Durch poröse Oberflächen könnte das Anwachsen von Knochen gesteuert werden.

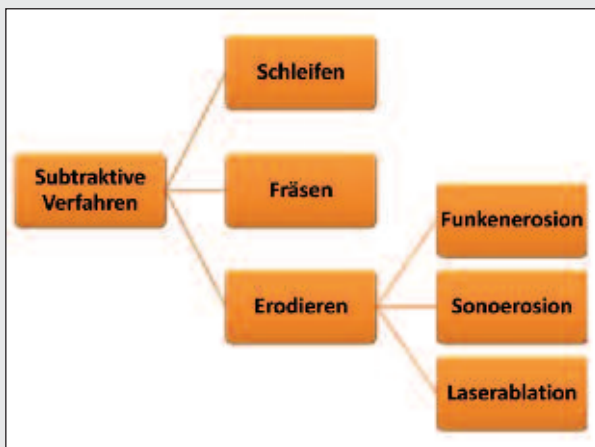


Galvanisches Abscheiden

Das galvanische oder elektrolytische Abscheiden sind weitere Methoden zur Produktion von Gerüsten. Bei der Elektrophorese, ein bekanntes Schlickerverfahren, werden Partikel mit einer Ladung versehen und abgeschieden. Dies können Keramik- aber auch Metallpartikel sein. Die elektrolytische Herstellung von Gerüsten ist möglich, aber bislang nicht praxistauglich umgesetzt. Nach der Abscheidung müssen die Objekte gesintert werden. Bei Keramiken ist dies problemlos möglich. Legierungen zeigen hier jedoch Schwierigkeiten, besonders EMF-Legierungen bereiten Probleme. Beim Sinterprozess kommt es zu einer Oxidation der Legie-

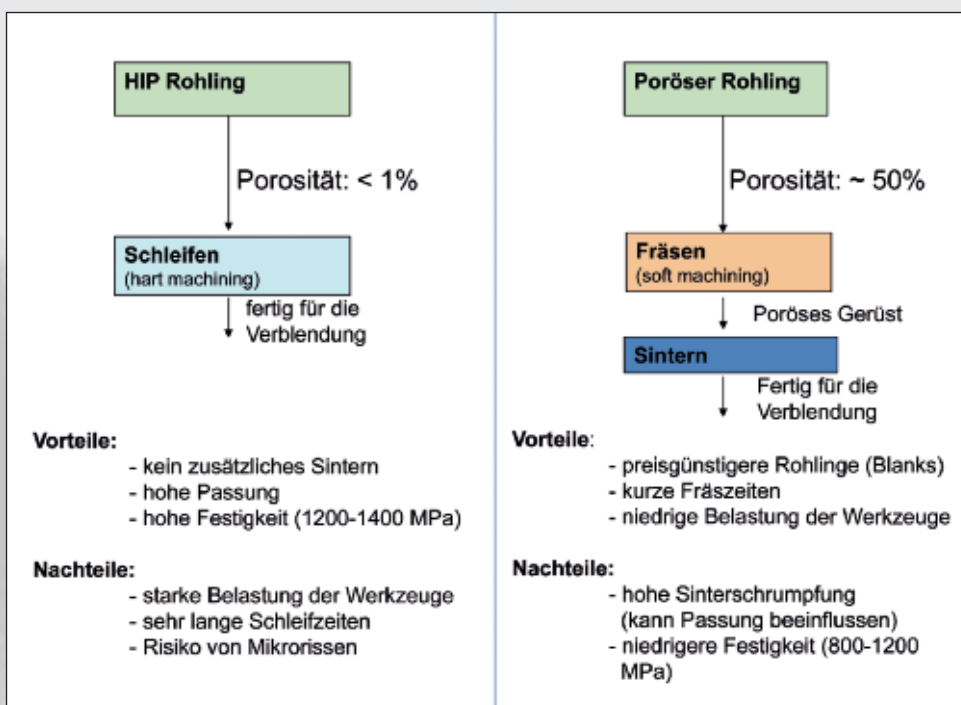
► Abb. 20 Produktionszentrum Bego Medical mit Fräsmaschinen zur subtraktiven Bearbeitung von Keramiken, Metallen und Kunststoffen





◀ Abb. 21 Subtraktiv arbeitende Systeme

▼ Abb. 22 Gegenüberstellung des Schleifens von gehiptem Material und dem Fräsen von Weißlingen



rungspartikel, die dann nicht mehr zusammensintern können, da die Oxide als Trennschicht wirken. Das Resultat sind porige Gefüge, die mechanisch nicht ausreichend stabil sind. Auch der Einsatz von Argon kann dies nicht verhindern. Daher ist das Sintern von EMF-Legierungen unter Bedingungen, wie sie in einem Dentallabor herrschen, sehr kritisch zu sehen.

Subtraktives Verfahren

Bei den subtraktiven Verfahren wird Material abgetragen (Abb. 21). Dies ist vergleichbar mit einem Bildhauer, der eine Figur entstehen lässt, indem er einen Stein formgerecht bearbeitet. In der

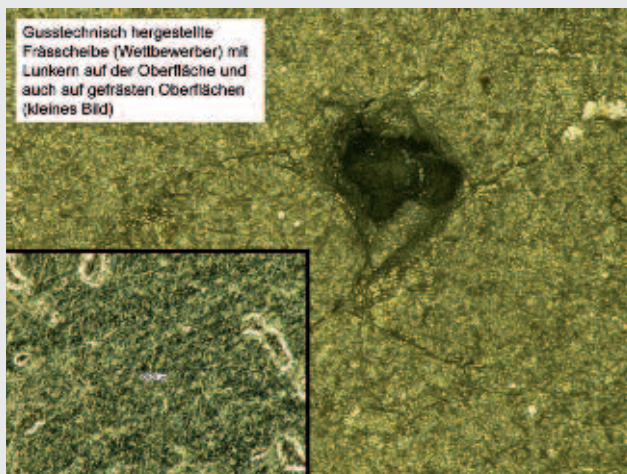
Zahntechnik ist der Stein der Keramikblock, aus welchem das Gerüst herausgefräst wird. Bei beiden Verfahren wird der größte Teil des Materials verworfen. Dies ist ein Nachteil der subtraktiven Verfahren. Die Wirtschaftlichkeit ist nur gegeben, wenn das Material sehr preiswert ist oder aber die erreichbare Präzision nicht anders erreicht werden kann.

Man unterscheidet das Schleifen, Fräsen und Erodieren von Materialien. Beim Schleifen wird von Werkzeugen mit undefinierten Schneidkanten Material abgetragen, während beim Fräsen Schneidkanten bekannter Geometrien verwendet werden. Beim Erodieren wird durch Anlegen einer elektrischen



▲ **Abb. 23** Frässscheibe (Rohling, Blank) einer Cobalt-Chrom-Legierung (Wirobond MI+/BEGO Medical)

▲ **Abb. 24** Fehlstellen auf einer Cobalt-Chrom-Frässscheibe, die gusstechnisch und ohne nachfolgende Verdichtung produziert wurde



Spannung Material abgetragen. Prinzipiell können auch andere Energiequellen wie Laserstrahlen oder Schallwellen verwendet werden. Um wirtschaftlich zu arbeiten, muss der Schleif- oder Fräsprozess optimiert werden. Durch Schleifen oder Fräsen kann eine hohe Präzision erreicht werden. Das Schleifen wurde für die Produktion von Keramik [67] und gehiptem Zirkoniumdioxid [68] verwendet. Derzeit hat sich jedoch die Frästechnik bei der Verarbeitung von Zirkoniumdioxid im Weiß-Zustand (Weißlinge) durchgesetzt. Der Grund: Die leichtere Verarbeitung der Weißlinge. Daraus resultieren dann wieder längere Standzeiten der Werkzeuge. Auch Metalle können frästechnisch verarbeitet werden. Dies ist sinnvoll, wenn eine hohe Präzision gefordert ist. Allerdings fällt etwa 80 bis 90 Prozent Material-Abfall an. Bei den derzeitigen Edelmetallpreisen können relativ schnell beachtliche Beträge zusammen kommen. Die Frässscheiben aus Metall können auf verschiedene Art und Weise produziert werden:

■ Gusstechnisch

- Es wird ein langer Barren (Ingot) gegossen, aus dem dann die Scheiben der gewünschten Höhe herausgetrennt werden.
- Es werden die Scheiben einzeln in den gewünschten Abmessungen gegossen.

■ Pulvermetallurgisch

- Pulver wird verpresst und gesintert, dann werden die Scheiben der gewünschten Höhe herausgeschnitten.

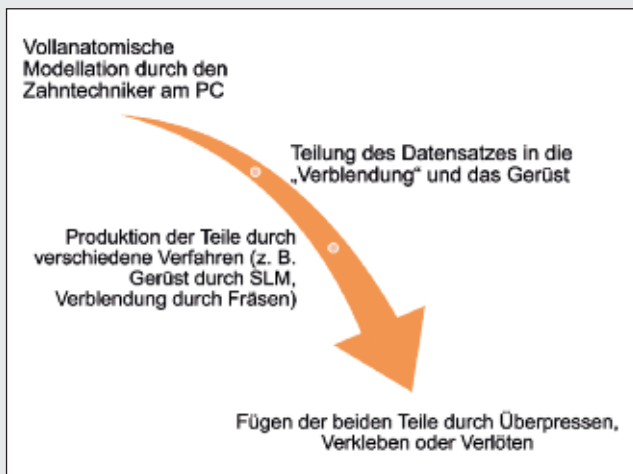
■ HIP-Prozess

- Es kann ein nachträgliches Verdichten durch hohe Drücke erfolgen, unabhängig davon, ob die Frässscheibe gusstechnisch oder pulvermetallurgisch hergestellt worden ist.

Die gegossenen Scheiben, die nicht nachträglich verdichtet werden, sind in der Regel die preisgünstigsten Halbzeuge. Allerdings besteht hier die Gefahr von Lunkern (Abb. 23). Wird nachträglich verdichtet, oftmals bei gegossenen und in aller Regel bei den pulvermetallurgisch hergestellten Frässscheiben, sind keine Porositäten zu beobachten, das heißt, das Material ist zu über 99 Prozent poren-/lunkerfrei. Im Rahmen eines Wettbewerb-Vergleichs wurden verschiedene Frässscheiben anonym im Handel eingekauft und verglichen. Bei Frässscheiben, die lediglich gegossen, aber nicht nachverdichtet wurden, zeigten sich öfters Fehlstellen – dargestellt ist ein extremes Beispiel (Abb. 24).

Wie schon erwähnt, ergibt Schleifen oder Fräsen eine hohe Präzision. Daher werden vorzugsweise Restaurationen für die Implantat-Prothetik so hergestellt.

Frästechnisch hergestellte Arbeiten aus Wirobond MI+, die Abutments beinhalten, dürfen nicht gelötet oder keramisch verblendet werden. Die dabei entstehenden Oxidschichten können nur mechanisch entfernt werden, was die Passung der Abutments zerstören würde. Konventionelle Kronen und Brü-



◀ Abb. 25 Produktion eines Gerüsts nebst dazugehöriger Verblendung aus einem Datensatz

▼ Abb. 26 Das Metallgerüst wurde mit Hilfe der SLM-Technologie aus einer Cobalt-Chrom-Legierung (Wirobond C+) produziert; das Kunststoffgerüst für die noch einzubettende und durch Überpressen herzustellende Verblendung wurde stereolithographisch hergestellt

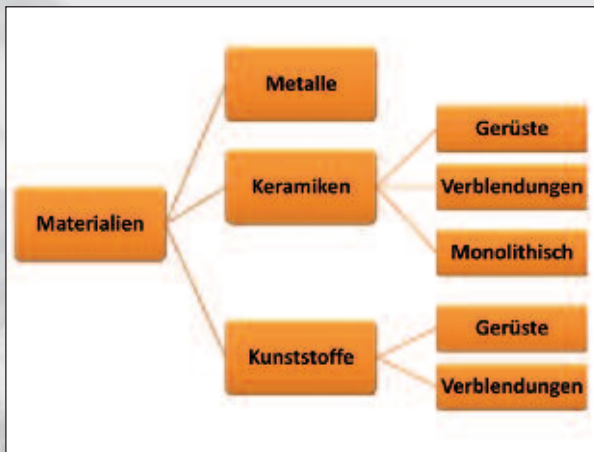
ckengerüste aus gefrästem Wirobond MI+ können dagegen wie gewohnt mit herkömmlichen Keramiken verblendet werden. Der Grund: Beim Aufbrennen oder Löten wird die Legierungsoberfläche oxidiert. Die Oxidschicht muss zwingend entfernt werden, da sie die Ionenabgabe stark erhöht und durch ihre Porosität eine Heimstätte für Bakterien darstellt, die nie mehr desinfiziert werden kann und somit eine Implantitis begünstigt. Auch ist die Oxidschicht mechanisch schwach, so dass sich auf Dauer das Abutment lösen wird. Im Falle einer Kobalt-Chrom-Legierung lässt sich die Oxidschicht nur mechanisch entfernen. Geschieht dies, wird aber die notwendige Passung zwischen dem Abutment und dem Implantat unwiderruflich zerstört. Bei den pulvermetallurgisch hergestellten Frätscheiben lassen sich höhere Festigkeiten erreichen als bei den gegossenen. Durch geeignete Temperaturprogramme können die Festigkeiten über einen weiten Bereich eingestellt werden. Ein weiterer Ansatz bei den metallischen Frätscheiben ist es, analog zum Zirkon, Grünlinge zu verarbeiten. Es wird vermutet, dass das Fräsen dieser porösen (mit Wachs gefüllten) Scheiben leichter ist als das Fräsen des massiven Materials. Dies klingt erst einmal plausibel, jedoch muss nachgewiesen werden, dass der Abrieb die Schneiden der Fräswerkzeuge nicht übermäßig beansprucht. Die Wirtschaftlichkeit muss, wie bei allen anderen Prozessen auch, kritisch hinterfragt werden.



Auch der notwendige, sich dem Fräsen anschließende Sinterprozess erscheint kritisch. Wie schon beim elektrophoretischen Abscheiden von Legierungen ist ein Sinterprozess nötig, um das poröse Material in ein kompaktes zu überführen. In Abbildung 19 ist das Ergebnis eines vom Hersteller (Wettbewerber von Bego) gesinterten Kobalt-Chrom-Käppchens nach elektrophoretischer Abscheidung gezeigt, welches viele und große Poren aufweist. Wird diese Hürde nicht genommen, ist davon auszugehen, dass das Material den Kaukräften nicht widerstehen wird.

Funkenerodieren

Das Funkenerodieren ist ein bekanntes subtraktiv arbeitendes Verfahren (siehe Abb. 21) zur Bearbeitung von Me-



▲ **Abb. 27** Praktisch alle Materialgruppen (Metalle, Keramiken und Kunststoffe) können mit Hilfe von CAD/CAM-Systemen für Gerüste und Verblendungen verarbeitet werden

tallen in der Dentaltechnik [70-72]. Es findet vornehmlich Anwendung in der Titanverarbeitung. Das Erodieren mit Schallwellen oder gepulsten Laserstrahlen ist denkbar, aber in der Zahntechnik noch nicht etabliert. Die Kombination verschiedener Produktionsarten ist durchaus denkbar und wird auch schon durchgeführt. Ein Anwendungsbeispiel ist die digitale Verblendung. Hier werden Gerüste und deren Verblendung zeitgleich hergestellt. Eine Vollguss-Modellation wird von dem CAD-Programm so bearbeitet,

dass es die vollanatomische Modellation gleichmäßig reduziert. Das subtrahierte Volumen wird als Datensatz gespeichert und stellt die spätere Verblendung dar. Das restliche Volumen ist das Gerüst. Nun können Gerüst und Verblendung getrennt voneinander, eventuell auch mit gänzlich anderen Methoden, produziert werden. Die Arbeit kann digital in das Gerüst und die Verblendung geteilt werden. Das Gerüst wird via SLM produziert. Die Verblendung wird stereolithographisch hergestellt und zusammen mit dem Gerüst eingebettet. Der Kunststoff wird ausgebrannt und anschließend wird die Keramik in den entstandenen Hohlraum gepresst. Stereolithographie meint das lagenweise Polymerisieren von Kunststoffen. Das fertige Gerüst mit dem dazugehörigen Kunststoffteil geht anschließend an das Dentallabor (Abb. 25). Dort muss das Gerüst mit Opaker versehen werden, bevor das Kunststoffteil aufgesteckt wird. Nach dem Einbetten kann es mit Keramik überpresst werden. Keramikfirmen gehen dabei andere Wege: Das Gerüst und die Verblendung werden getrennt gefräst und dann entweder verklebt oder verlötet. Bei allen drei Techniken wird die

► **Tab. 1** Beispiel: Welche Materialien sich mit welchen Fertigungsverfahren verarbeiten lassen

Material	Produktion durch	Produkte	
Metall	SLM	Wirobond® C+	
	Fräsen	Wirobond® MI+ BEGO Titan Gr. 4 BEGO Titan Gr. 5	
	CAD/Cast®	Bio PontoStar® Bio PontoStar® XL BegoStar® BegoPal® 300 Wiron® 99	Für die Verblendung mit normal expandierenden Keramiken
Bio PlatinLloyd® Pontonorm AuroLloyd® KF ECO d'OR Wirobond® LFC		Für die Verblendung mit hoch expandierenden Keramiken (LFC-Massen)	
Keramik	Fräsen	BeCe® CAD Zirkon + BeCe® CAD Zirkon HT+ BeCe® CAD Zirkon XH IPS e.max®	
Kunststoff	Fräsen Stereolithographisch	BeCe® Temp BeCe® Wax up	



◀ Abb. 28 Durchgefärbte Frässscheiben aus Zirkon

▼ Abb. 29 Schweiger-Krone

Verblendung aufgesteckt, das Metallgerüst nicht vollständig mit Keramik umschlossen.

Materialien

Anfänglich wurde CAD/CAM mit dem Schleifen von Zirkoniumdioxid gleichgesetzt. Dabei wurde übersehen, dass die Metallverarbeitung (hauptsächlich Titan) schon früher mit (dentalen) CAD/CAM-Systemen stattgefunden hat. Heute wird eine Vielzahl von unterschiedlichen Materialien via CAD/CAM verarbeitet. Die Tabelle mit dem Materialangebot der Firma Bego Medical zeigt beispielhaft, dass sich unterschiedliche Metalle, Keramiken und Kunststoffe mit Hilfe von CAD/CAM verarbeiten lassen.

Bei den Metallen kann die gesamte aus der Gusstechnik bekannte Palette von Edelmetall- und edelmetallfreien Legierungen verarbeitet werden. Bei Titan können gusstechnische Komplikationen – die Bildung einer Reaktionsschicht (Reaktion zwischen der Einbettmasse und der Titanschmelze, der sog. α -case [73-75]) – ausgeschlossen werden.

Durch pulvermetallurgisch hergestellte Halbzeuge (Frässscheiben, Pulver für das SLM-Verfahren) können auch die Materialeigenschaften hinsichtlich der Mechanik und der chemischen Eigenschaften optimiert werden.



Es scheint derzeit nicht wahrscheinlich, dass Metalle vollständig durch Keramiken und Kunststoffe verdrängt werden. Zu groß ist die Indikationsbreite. Es ist damit zu rechnen, dass neue Legierungen entwickelt werden, die auf die neuen Fertigungsverfahren hin optimiert sind. Bei den Keramiken muss zwischen Gerüst-, Verblend- und monolithischen Materialien unterschieden werden, wobei sich Gerüstkeramiken in der Regel als monolithische Keramiken verwenden lassen. Bei den Gerüstkeramiken ist das Zirkon von größter Bedeutung.

Korrekterweise sollte man vom Yttriumoxid-teilstabilisierten-Zirkoniumdioxid [21,76, 77] sprechen. Dies ist natürlich im Laboralltag viel zu sperrig. Es sollte einem jedoch bewusst sein, dass der Begriff Zirkon das Material völlig falsch beschreibt!



▲ **Abb. 30**
Provisorische Brücke
aus gefrästem
Kunststoff

▼ **Abb. 31** **Mögliche**
Indikationen für die
CAD/CAM-Fertigung

Für den ästhetischen Eindruck ist es günstig, wenn das Gerüst in verschiedenen Farben vorliegt. Die Einfärbung nimmt entweder der Hersteller vor (Abb. 28), so dass das ganze Material homogen durchgefärbt ist, oder der Anwender kann durch Infiltration von Farblösung die Farbe selbst bestimmen. Hier besteht jedoch die Gefahr, dass die Einfärbung nicht homogen, sondern scheckig und somit nicht reproduzierbar ist. Allerdings kann man unterschiedlich (industriell) eingefärbte Fräsblanks verwenden, um einen verbesserten opti-

schen Eindruck zu erhalten. Diese Farbschichtungen werden im Allgemeinen durch den Hersteller vorgenommen. Durch geschickte Platzierung des zu fräsenden Objektes in dem Fräsblank kann die Inzisalkante in einen hochtransparenten Bereich gelegt werden.

Ein weiterer derzeitiger Trend ist die Verwendung monolithischer Werkstoffe. Das bedeutet, dass die Restauration aus nur einem Material besteht, welches entweder so belassen oder mittels Maltechniken ästhetisch optimiert wird. Verwendet werden kann auch Zirkon [78,79]. In wie weit sich dieser Trend fortsetzt, wird sich zeigen. Beim Zirkon sollten die Abrasionen des Antagonisten beobachtet werden und/oder ob es zu Problemen mit dem Kiefergelenk kommt. Dies kann besonders dann vorkommen, wenn zwei Restaurationen aus monolithischen Materialien als Antagonisten aufeinander treffen.

Zwischenschritt zwischen der klassischen Technik, dem schichtweisen Verblenden von Gerüsten, und den monolithischen Materialien ist die Schweiger-Krone. Hier wird eine vollanatomische Modellation geringfügig zurückgenommen und das so reduzierte Gerüst ge-





fertigt. Der Zahntechniker kann dann die Schneide individuell schichten und so den ästhetischen Eindruck stark verbessern.

Kunststoffe lassen sich vielfältig in der CAD/CAM-Technologie verwenden. Aus ihnen können Modelle, Gerüste, Schienen/Schablonen oder Verblendungen sowie Interimsversorgungen hergestellt werden. Diese Werkstoffgruppe dürfte noch das höchste Entwicklungspotenzial haben. Neben möglichen Verfärbungen sind vor allem das Abrasionsverhalten und die Löslichkeit von Interesse. Die Abrasion bei Kunststoffen stellt sich zunächst einmal als Nachteil dar. Kunststoff-Verblendungen könnten eine sinnvolle Alternative sein. Chipping von Kunststoffverblendungen tritt in der Regel nicht auf. Außerdem kann eine Kunststoffverblendung auch beim Patienten in der Mundhöhle repariert werden.

Indikationen

In der Zahnersatzkunde (Prothetik) ist die Produktion von Gerüsten für Kronen und Brücken Stand der Technik. Diese können komplett, teilweise oder nicht verblendet sein. Auch Prothesen lassen sich via CAD/CAM herstellen. So könnte man sich das Farb-3D-Plotten von Prothesen, inklusive Zahnfleischmaske und Zähnen (rote und weiße Ästhetik) vorstellen.

Als Grundlage für Kronen und Brücken können natürliche (Zähne), künstliche (Implantate, siehe Abb. 32) oder eine Mischung aus beiden Pfeilern dienen. Die Implantologie ist neben der



CAD/CAM-Technologie sicherlich der am stärksten wachsende Bereich der Zahnheilkunde.

Hier sind es individuelle Abutments (Abb. 33) aus den unterschiedlichen Materialien, die derzeit im Fokus stehen. Auch individuelle Stege (Abb. 34) sind, je nach Markt, von Wichtigkeit. Durch die beschriebenen bildgebenden Verfahren, die Möglichkeiten der modernen CAD-Software sowie die innovativen Fertigungstechnologien können die Anzahl der Zahnarztbesuche für den Patienten, und dadurch auch Kosten reduziert werden.

Denkbar wären auch individuelle Implantate, die auch noch unterschiedliche Porositäten (zum Einwachsen von Knochenzellen) und/oder Beschichtungen aufweisen könnten.

In der konservierenden Zahnheilkunde (Zahnerhaltung) ist die Produktion von Inlays und Onlays Stand der Technik. Mit den neuen Materialien und Ferti-

▲ **Abb. 32** Mögliche Indikationen für die CAD/CAM-Fertigung: gefräste implantatgetragene Brücke (Toronto-Bridge)

▲ **Abb. 33** Individuelles Abutment. Denkbar sind Materialien wie Titan, Titan oder Kobalt-Chrom-Legierungen, Keramiken oder Kunststoffe

◀ **Abb. 34** Individueller Steg aus einer Titan-Legierung

gungstechniken wird auch die Produktion von Veneers möglich sein. Ebenfalls könnte man sich die Verwendung farblich geschichteter Materialien vorstellen. Der Farb-3D-Druck erscheint nicht unwahrscheinlich.

Auch die Kieferorthopädie wird von den CAD/CAM-Systemen profitieren. Neben einer sehr detaillierten Planung können innen liegende Brackets aus den unterschiedlichsten Materialien mit verschiedenen Fertigungsmethoden produziert werden.

Ausblick

Unabhängig von der technischen Entwicklung wird sich der Dentalmarkt durch die demographische Entwicklung verändern. Dies betrifft die Patienten, aber auch die Struktur der Zahnarztpraxen und Dentallabors sowie der Dentalindustrie.

Fakt ist: Die Anzahl der Studentinnen der Zahnmedizin nimmt stetig zu. Zahnärztinnen möchten aber tendenziell keine eigene Praxis führen. Um Beruf und Familie stärker zu vereinbaren, streben

sie öfter ein Angestelltenverhältnis oder die Gründung von Gemeinschaftspraxen an. Somit ändert sich die Struktur der „typischen“ Zahnarztpraxis. So ist die Rolle von Praxislabors und deren Bedeutung in Dentalkliniken/Dentalzentren zu diskutieren. Die gewerblichen Dentallabors stehen durch die politischen Vorgaben, der zuvor skizzierten Veränderung der Zahnarztpraxen, dem preiswerten Zahnersatz aus dem Ausland aber auch durch die zunehmende Industrialisierung stark unter Druck. Nicht nur die Situation der Zahnärzte und Zahntechniker ist im Wandel begriffen. Auch die Dentalindustrie durchlebt tiefgreifende Veränderungen. Welche Firma bietet nicht in irgendeiner Weise eine CAD/CAM-Lösung an? Wer hier nicht mit der Zeit geht, geht mit der Zeit. Die Gretchenfrage ist, welche Produktionsart sich durchsetzt: Zentral oder dezentral? Werden beide Welten nebeneinander existieren und sich ergänzen? Wie positioniert sich ein Unternehmen? Wie groß wird die Rolle der konventionellen Zahntechnik zukünftig sein? Bildgebende Verfahren werden zuneh-

Literatur:

- [44] Gebhardt A. Rapid prototyping: Werkzeuge für die schnelle Produktentstehung. 2. Auflage ed. München - Wien: Hanser; 2000
- [45] Schweiger J, Erdelt K-J, Beuer F. Rapid Prototyping - Technik der Zukunft? Dent Lab 2004;52:1109-1118
- [46] Strietzel R. FutureDent – Preisgünstiger Zahnersatz mit Hilfe eines CAD/CAM-Systems. Quintessenz Zahntech 2001;27:966-974
- [47] Strietzel R, Weiss C, Laschütza H. CAD/CAM – Warum? dent lab 2002;50:1227-1229
- [48] Niemann P. Laser-Sinterverfahren in der CAD/CAM-Technik. Quintessenz Zahntech 2003;29:38-42
- [49] Nagel M, Strietzel R. Zeit & Geld sparen. Zahntechniker 2004;44-45
- [50] Strietzel R. Herstellung von metallischen Gerüsten mit Hilfe des BEGO Medifacuring Verfahrens. Quintessenz Zahntech 2004;30:406-417
- [51] Bressemer J. Laserschmelzen. dent lab 2006;54:1337-1340
- [52] Bressemer J. Laser Melting. Dent Lab Internat 2007;3:29-32
- [53] Pishwa L, Freesmeyer WB, Blumenrath B. Verblendkronen aus CAD/CAM-Laser-gesinterten Gerüsten - eine Anwendungsbeobachtung. Dtsch Zahnärztl Z 2007;62:470-477
- [54] Rudolph M, Setz J. Ein CAD/CAM-System mit aufbauender Lasertechnologie. Quintessenz Zahntech 2007;33:582-587
- [55] Mullen L, Stamp RC, Brooks WK, Jones E, Sutcliffe C. Selective Laser Melting: A regular unit cell approach for the manufacture of porous, titanium, bone in-growth constructs, suitable for orthopedic applications. J Biomed Mater Res B Appl Biomater 2008
- [56] Emmelmann C, Munsch M. Konstruktion mittels Lasersintern. ZWL 2009;12:40-42
- [57] Schweiger J, Beuer F, Maier B. Herausnehmbare Implantatprothetik im digitalen Verfahren. team work (J Cont Dent Educ) 2010;6:642-654
- [58] Kwiedor T, Strietzel R. Was CAD/CAM heute kann. DZW 2011;22:26-27
- [59] Szwedka G. CAD-unterstützte lasergestützte Fertigung von Zahnersatz. Quintessenz Zahntech 2011;37:374-380
- [60] Eisen M, Hinterseher J. SLM-Verfahren: Mehr Formgenauigkeit – weniger Eigenspannung. Zahntech Mag 2008;12:626-632
- [61] Riquier R. Frästechnik versus Lasersintern. Quintessenz Zahntech 2006;32:534-546
- [62] Riquier R. Großspännige Lasermelting-Gerüste passen nicht!!! Quintessenz Zahntech 2009;35:503-506

mend Einzug in den dentalen Alltag halten. Aber verdrängen die neuen Verfahren die alten oder ergänzen sie diese? Ist eine zusätzliche Strahlenbelastung beim intraoralen Scannen gerechtfertigt oder wird es hier andere technische Lösungen geben?

Bei den Produktionsmethoden ist sicherlich abzusehen, dass es weiterhin ein Nebeneinander von additiven und subtraktiven Verfahren geben wird. Wahrscheinlich ist, dass verschiedene Produktionsverfahren miteinander kombiniert werden. Bei den Materialien wird die Auswahl größer werden. Wahrscheinlich wird die Bedeutung von Kunststoffen zunehmen.

Durch die Weiterentwicklung von Produktionstechnologien und Materialien wird es zu Indikationserweiterungen kommen. Aber auch neue, bislang nicht erhältliche Werkstoffe kommen dazu.

Fazit

Die CAD/CAM-Technologie ist mittlerweile kein Nischenprodukt mehr, sondern Stand der Technik. Durch die wei-

teren Entwicklungen wird sich nicht nur der Berufsalltag der Zahntechniker ändern. Auch die Zahnärzteschaft sowie die Dentalindustrie unterliegen einem starken Wandel. Steht zu hoffen, dass jeder seine Nische findet und vor allem, dass auch der Patient in Form von zuverlässigem und bezahlbarem Zahnersatz davon profitiert. ■



PD Dr. Strietzel
Bego Bremer Goldschlägerei
Wilhelm Herbst GmbH & Co. KG
Wilhelm-Herbst-Straße 1
28359 Bremen
Telefon (04 21) 20 28-130
E-Mail Strietzel@bego.com
Internet www.bego.com

Nähere Infos zum Autor finden Sie unter www.dlonline.de/service/autoren.html



<http://bit.ly/1bPdyMn>

- [63] Quante K, Ludwig K, Kern M. Marginal and internal fit of metal-ceramic crowns fabricated with a new laser melting technology. *Dent Mater* 2008;24:1311-1315
- [64] Strietzel R. Selective Laser Melting in dentistry. In: Daskali A ed, *Informatics in Oral Medicine - Advanced Techniques in Clinical and Diagnostic Technologies*. Hershey New York: IGI Global; 2010
- [65] Tara MA, Eschbach S, Bohlsen F, Kern M. Klinische Ergebnisse mit lasergesinterten Metallkeramikronen - Ergebnisse entsprechen konventionellen Kronen. *Quintessenz Zahntech* 2011;37:796-799
- [66] Hagedorn Y-C, Dierkes S. Generative Fertigung vollkeramischer Gerüste. *Dig Dent News* 2011;5:10-22
- [67] Eidenbenz S, Schärer P. Das Kopierschleifen keramischer Formkörper. *Phillip Journal* 1994;11:91-95
- [68] Sjölin R, Sundh A. The Decim System for the Production of Dental Restorations. *Int J Comp Dent* 1999;2:197-207
- [69] Heinzel I, Grusche H. Fräsen in Edelmetall. *Quintessenz Zahntech* 2012;38:1097-1101
- [70] Otten B. Die zweite Generation von SAE-Funkenerosionsgeräten. *dent lab* 1996;44
- [71] Rubeling G. [Electroerosion in dental technology. Possibilities and limits]. *Dent Labor (Munch)* 1982;30:1697-1702

- [72] Walter M, Reppel PD, Boning K. [Milling technique and spark erosion, an alternative to cast titanium]. *Dent Labor (Munch)* 1991;39:501-504
- [73] Augthun M, Schädlich-Stubenrauch, J., Sahn, P. R. Untersuchungen zur Oberflächenbeschaffenheit von gegossenem Titan. *Dtsch Zahnärztl Z* 1992;47:505 - 507
- [74] Brauner H. Zur Randschichtaufhärtung an Titanwerkstoffen durch unterschiedliche Formstoffe und Einbettmassen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1992;47:511 -515
- [75] Tolykpayewa A, Luthardt R, Richter G, Walter M, Kästner K. Zur Qualität zahntechnischer Gußobjekte aus Titan. *dent lab* 2000;48:717-722
- [76] Clausbruch SCv. Vom Zirkonsand zur High-end Keramik. *Dent Lab* 2009;57:62-72
- [77] Cramer von Clausbruch S. Zirkon und Zirkonium. *dent lab* 2003;51:1137-1142
- [78] Rager R, Jeschke F, Wanschka PI. Monolithisch gefrästes ZrO₂ als Alternative zu NEM im Seitenzahnbereich. *Quintessenz Zahntech* 2011;37:1356-1363
- [79] Tinschert J, Natt G, Braumüller D, Cfer R, Wolfart S. Festigkeitsverhalten von Sinterverbundsystemen. *Dent Lab* 2011;59:1762-1769