

Autor
Wissenschaftler
Status
Aktuell
Kategorie
Grundlagen

Vergleich computergestützter Verfahren zur Herstellung von CoCr-Restaurationen

Dr. Ragai Matta, Prof. Dr. Stephan Eitner, ZA Gabriel Skibinski, Christine Apitz, Dr. Amine Benalouane, Renate Benalouane

Dieser Beitrag umfasst Auszüge der Real Life-Untersuchung „Vergleich von computergestützten Herstellungsverfahren für Zahnersatz aus Kobalt Chrom“. Es handelt sich um eine komparative Aufstellung zu drei Fertigungswegen (Abb. 1) mit Fokus auf Passform, Verarbeitungsqualität und Wirtschaftlichkeit. Diese Zusammenfassung bietet einen Überblick über die untersuchten Fertigungsmethoden, die wichtigsten durchschnittlichen Messergebnisse sowie Vergleichsargumente hinsichtlich Produktionsablauf, Innovation und Wirtschaftlichkeit.



Abb. 1: Dreigliedrige Cobalt-Chrom-Brücke gefräst aus einer Hartmetall-Ronde (l.), gefräst aus einem Sintermetall-Rohling (m.) und additiv hergestellt im Laserschmelzverfahren (r.).

Die nachfolgende Beschreibung der Untersuchung und ihrer Ergebnisse erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit; vielmehr werden sachverständig die Echtzeit-Resultate des Marktes beschrieben und den Lesern in einer real marktorientierten Momentaufnahme zur offenen Diskussion näher gebracht.

Einleitung

Für die Herstellung von Zahnersatz aus Cobalt-Chrom (CoCr) stehen derzeit drei unterschiedliche

computergestützte Verfahrenswege zur Auswahl: Selektives Laserschmelzen (engl. Selective Laser Melting, Abk. SLM), Trockenfräsen aus Sintermetall mit anschließendem Dichtsintern im Ofen unter Argon-Schutzgasflutung und Fräsen aus Hartmetall. Liefern diese in der Zahnheilkunde recht jungen Techniken allesamt klinisch akzeptable Resultate zur Eingliederung? Dieser Frage ging ein Team der Universitätsklinik Erlangen, Zahnklinik 2 – Zahnärztliche Prothetik, nach.

Um unverfälschte „Alltagsergebnisse“ zu erhalten, wurden die involvierten Fertigungszentren unabhängig durch dritte Hand beauftragt und über die Durchführung der universitären Untersuchung vorab nicht informiert. Der Ablauf folgte dem regulären Marktgeschehen, indem bei den Fertigungsdienstleistern ihre spezifischen Produktionsparameter und etwaige sonstige Vorgaben erfragt und am Computer darauf abgestimmte Konstruktionen (DWOS, Dental Wings, CA-Montreal) erstellt wurden (Abb. 2). Als konstanter Parameter wurde für alle Restaurationen (Einzelkappe und dreigliedriges Gerüst) eine Wandstärke von 0,5 mm gewählt.

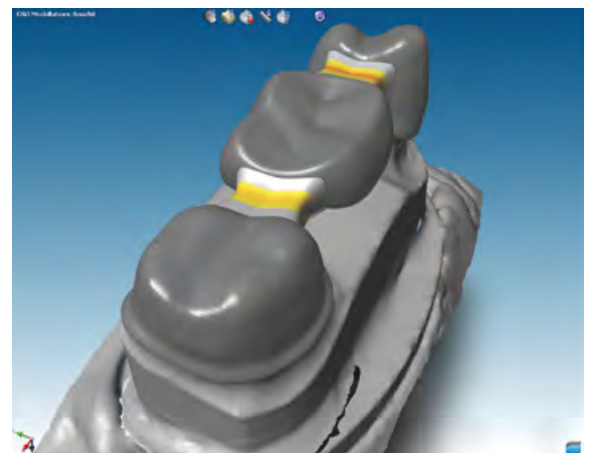


Abb. 2: Virtuelle Modellation eines dreigliedrigen Brückengerüsts.

QR-Code scannen und den Beitrag auf Ihr Smartphone oder Tablet herunterladen!

Verglichen wurde in erster Linie die mit den drei genannten Fertigungsmethoden erzielbare Randschlussgenauigkeit. Es wurden speziell konzipierte Pfeiler aus Superhartgips mit dem Scanner 7Series (Dental Wings) digitalisiert, der Präparationslinien präzise erfasst. Per Verfahrensweg wurden 10 Kappchen sowie 10 dreigliedrige Brückengerüste (für jeden Prozess insgesamt 40 Einheiten) mit der Software DWOS für die Fertigung konstruiert. Die marginale Passgenauigkeit der Restaurationen evaluierte das Team abschließend mit dem Industriescanner ATOS SO 4 II (GOM – Gesellschaft für Optische Messtechnik, D-Braunschweig).

Vorstellung der Fertigungsverfahren

SLM

SLM ist ein additives CAD/CAM-Verfahren. Die vorliegenden CAD-Daten werden zur Weiterverarbeitung virtuell in einzelne Schichten aufgeteilt, die während des folgenden Herstellungsprozesses nacheinander aufgebaut werden (Abb. 3). Dazu wird das Material (hier Cobalt-Chrom) als feiner Einkomponenten-Pulverwerkstoff (ohne Bindemittel) auf einem Trägerboden verteilt und durch einen hochenergetischen Laserstrahl (Faserlaser) mit hoher Energiedichte lokal aufgeschmolzen (Abb. 4). Der schichtweise Aufbau der Restaurationen erfolgt durch Absenkung der Bauplatte, dem Neuauftrag von Pulver und erneutem punktuell Schmelzen. Das Metallpulver wird stets vollständig aufgeschmolzen, bevor es sich wieder verfestigt. Die Geometrie der Konstruktionen wird durch Ablenkung des Laserstrahls mittels einer Spiegelablenkeinheit frei in der



Abb. 3: Auf Bauplattform aufgebaute SLM-Restaurationen mit Supports.

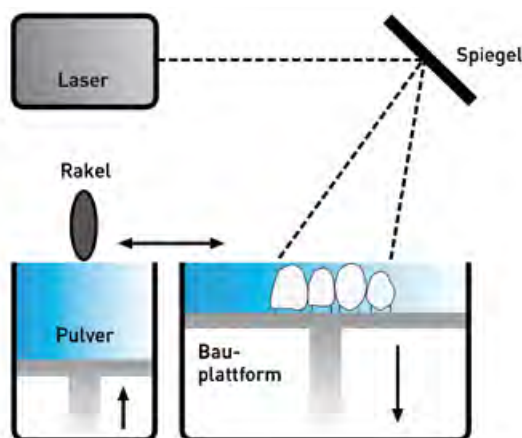


Abb. 4: Schematische Darstellung des SLM-Produktionsablaufs.

Formgestaltung erzeugt. So können geometrische Besonderheiten wie beispielsweise Unterschnitte ohne räumliche Einschränkungen erzeugt werden. Neben Kronen, Brücken und Sekundärkonstruktionen ist das SLM-Verfahren auch für die Umsetzung von Modellgusskonstruktionen geeignet. Nach Abschluss des vollautomatischen Produktionsprozesses, der auch über Nacht erfolgen kann, werden die Konstruktionen von der Trägerplatte abgetrennt, die Stützgeometrien entfernt und die Verbindungsstellen nachgearbeitet.

Trockenfräsen von Sintermetall

Neben dem konventionellen CNC-Fräsen aus CoCr-Hartdiscs besteht heute die Möglichkeit, aus „weichen“ CoCr-Grünlingen (Soft-NEM) zu fräsen. Der Werkstoff wird in einem wachsartigen Zustand (ungesintertes Metallpulver, das durch einen organischen Binder zusammen gehalten wird) maschinell bearbeitet. So lassen sich diese Blanks mühelos trocken auch in kleineren Fräsmaschinen bearbeiten (Abb. 5). Die Gerüste erreichen ihren festen Endzustand durch den Sinterprozess, der unter Argon-Schutzgasflutung durchgeführt wird (Abb. 6). Während dieser Phase wird das Bindemittel vollständig ausgetrieben und die Gerüste unterliegen einem in allen Raumrichtungen gleichmäßigen Volumenschrumpfung von etwa 11 %. Nach dem Dichtsintern weisen die erzielten Restaurationen eine sehr homogene und leicht angeraute Oberflächenstruktur auf, die mit geeigneten Schleif- beziehungsweise Polierinstrumenten problemlos geglättet und auf Hochglanz poliert werden kann.



Abb. 5: Gefräste Gerüste vor dem Heraustrennen aus dem Sintermetall-Rohling.



Abb. 6: Gerüste nach dem Dichtsintern unter Argon-Schutzgasflutung.

Fräsen von Hartmetall

In der konventionellen frästechnischen Herstellung von NEM-Restorationen werden Rohlinge aus Hartmetall auf CoCr-Basis verwendet. Die Zerspanbarkeit dieser Blanks wird nicht nur von den gewählten Werkzeugen und Schnittbedingungen etc., sondern maßgeblich auch werkstoffseitig von der Gefügestruktur und den mechanischen Eigenschaften des Materials bestimmt. Für die Zerspanung von Hartmetall müssen die Fräsmaschinen hohe Anforderungen erfüllen. Die NC-gesteuerte Bearbeitung gliedert sich grundsätzlich in die Fertigungsschritte Schruppen (grober Materialabtrag) und darauf folgend Schlichten (Feinarbeit zum Erreichen einer bestimmten Oberflächengüte und Form- / Maßgenauigkeit).

Vergleich der Fertigungsverfahren

SLM

Im Vergleich zum Selektiven Lasersintern (engl. Selective Laser Sintering, Abk. SLS), bei dem das Metallpulver nur erhitzt wird, bis es weich genug ist, um aneinander zu haften, können beim Laserschmelzen weitere Prozessschritte wie die thermische Nachbe-

handlung der Restorationen entfallen. Gegenüber der klassischen Gusstechnik überzeugt SLM durch seinen vollautomatisch präzisen Produktionsprozess. Ausschuss, Lunker und ein erhöhter Nacharbeitsaufwand, wie sie bei der Gusstechnik auftreten, erübrigen sich. Im Gegensatz zu gefrästen CoCr-Restorationen, die in ihrer Geometrie stets von der real möglichen Achsneigung der zum Einsatz kommenden Fräsmaschine abhängig sind, sind SLM-Erzeugnisse in ihrer Geometrie frei. Ein weiterer Vorteil gegenüber dem Guss- und Fräsverfahren ist die simultane Anfertigung mehrerer Einheiten in einem einzigen Produktionsvorgang (bei großen Maschinen bis zu 450 Einheiten zeitgleich auf einer Bauplatte). Zudem entstehen bei dem additiven Verfahren nahezu keine Abfallprodukte; das Metallpulver, das nicht verschmolzen wurde, kann verlustfrei wiederverwendet werden. So schneidet SLM in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit sehr gut ab.

Die Oberflächengüte (Innen- und Außenfläche) kann abhängig von dem gewählten Produktionssystem, den Einstellungen und dem verwendeten Material eine leichte bis mäßig starke Rauigkeit aufweisen. U. U. zeichnen sich die einzeln aufgebauten Schichten ab. Im Rahmen der vorgestellten Untersuchung erschienen die Oberflächen matt und leicht rau.

Trockenfräsen von Sintermetall

Durch die Einführung von trocken fräsbarem Sintermetall erfährt die digitale Herstellung von NEM-Restorationen breitere Anwendung. Auch kleinere Maschinen sind nun in der Lage CoCr-Legierungen zu bearbeiten. Dies wiederum eröffnet vielen zahn-technischen Betrieben die Chance, die entsprechende Wertschöpfungskette inhouse zu belassen. Die Passung der aus Soft-NEM gefrästen und unter Argongas dichtgesinterten Restorationen erscheint im Rahmen der Untersuchung durchgehend einwandfrei. Die erforderliche Nachbehandlung in Form des Sinterprozesses stellt gegenüber dem Fräsen aus Hartmetall, bei dem das Endergebnis unmittelbar vorliegt, zugegebenermaßen einen zeitlichen Nachteil dar. Im Gegenzug zeigt sich beim Fräsen von Sintermetall jedoch die Standzeit der Fräswerkzeuge deutlich verlängert, da sich das weiche Material ähnlich verschleißarm wie Wachs fräsen lässt. Im Vergleich zu klassischen Gusserzeugnissen punkten Sinterme-

tall-Restaurationen mit einer äußerst homogenen Gefügestruktur. Die Oberflächen der Sintermetall-Gerüste wirken nach abgeschlossenem Sintervorgang ähnlich einer sehr feinen, homogen sandgestrahlten Fläche, die noch nachzubearbeiten ist.

Als Indikationsbereiche werden anatomisch reduzierte und vollanatomische Kronen- und Brückengerüste im Front- und Seitenzahnbereich angegeben. Es sind maximal zwei zusammenhängende Zwischenglieder im Front- und Seitenzahnbereich zugelassen, bei Freidendbrücken besteht die Limitation in höchstens einem Freidendglied bis maximal zum zweiten Prämolaren.

Fräsen von Hartmetall

Materialtechnischer Vorteil der Fräsbearbeitung von Hartmetall-Rohlingen aus CoCr gegenüber Soft-NEM ist die realisierbare Spannweite. So kann beispielsweise ein 14-gliedriges Brückengerüst (fast) ohne Beschränkung hinsichtlich der Anzahl von aufeinanderfolgenden Zwischen- oder auch Freidendgliedern gefertigt werden (Abb. 7). Das Indikationsspektrum reicht von anatomisch reduzierten über vollanatomische Restaurationen bis hin zu direktverschraubten Suprakonstruktionen auf Implantaten wie Brücken oder Stegen. Die Bandbreite der Anwendung übersteigt demnach diejenige, die zum heutigen Zeitpunkt für Soft-NEM angegeben wird, deutlich.



Abb. 7: 14-gliedriges Brückengerüst gefräst aus Hartmetall-Ronde auf CoCr-Basis.

Bei Betrachtung des Zeitaufwands sind beide Fräsverfahren dem SLM, das – volumenabhängig – die Fertigung von bis zu 450 Einheiten innerhalb von 24 Stunden ermöglicht, deutlich unterlegen. Bei einer im

Rahmen dieser Untersuchung angegebenen durchschnittlichen Fräszeit von 20 Minuten pro Hartmetall-Einheit, müsste für diese Menge rund 90 Stunden lang ununterbrochen gefräst werden. Des Weiteren sind für die Bearbeitung von CoCr-Hartdiscs Werkzeuge mit spezieller Schneidgeometrie und Beschichtung erforderlich, die an die ausgeprägte Materialhärte angepasst sind, und der Anwender benötigt eine hinsichtlich Stabilität sowie Dynamik äußerst leistungsstarke – und entsprechend große, hochpreisige – Maschine.

Die Oberflächen (Innen- und Außenfläche) der hartgefrästen CoCr-Restaurationen zeigen sich glatt und glänzend. Die Genauigkeitswiedergabe von Form und Maß erscheint bei einfachen Kappen unter den drei Fertigungsverfahren gleichgestellt, wobei die mittlere marginale Passgenauigkeit bei den Restaurationen aus Hartmetall etwas besser ist.

Randspalt-Evaluierung

Die nachfolgend genannten Messergebnisse sind als der Untersuchung zugrunde liegende Realdaten der „Rohergebnisse“ CAD/CAM-gefertigter Restaurationen zu verstehen. Mit dem Industriescanner ATOS SO 4 II wurden 30 Einzelstumpf- und 30 unge-sägte Modelle (dreigliedrige Brücken), die insgesamt 90 präparierte Kronenstümpfe enthielten, gescannt. Die Präparationsgrenzen sind bei allen Stümpfen klar erkennbar und weisen eine ausgeprägte Hohlkehle von ca. 0,5 mm Tiefe auf. Der für die Messung verwendete 3D-Scanner erfasst die gesamte vorliegende Geometrie der Modelle und Kronengerüste flächhaft in einer hochauflösenden Punktwolke und digitalisiert mit einer Genauigkeit von 0,004 mm (= 4 µm). Es wurde jeweils zuerst der Stumpf vollflächig gescannt, daraufhin die gesamte Innen- sowie Außenfläche der Kappe digitalisiert und dann die Kappe auf dem Stumpf positioniert, um beide Elemente zusammengesetzt nochmals gemeinsam zu scannen (Abb. 8 und 9). Auf diese Weise kann der tatsächliche Spalt zwischen dem Kronengerüst und dem Stumpf präzise evaluiert werden. Die bildhafte Darstellung der dreidimensional erzeugten Flächendaten erlaubt in der Auswertung zudem eine genaue Betrachtung der Parameter-Umsetzung, z. B hinsichtlich der Fräsradiuskorrektur, des Zementspalts etc.

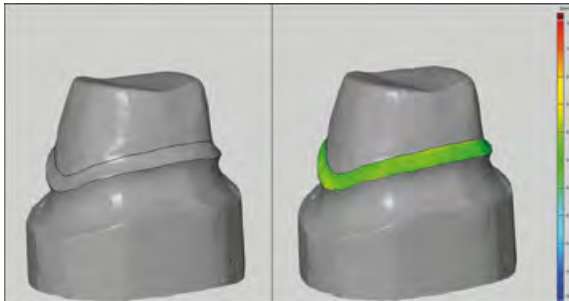


Abb. 8: 3D-Darstellung der Spaltgröße zwischen Krone und Stumpf.

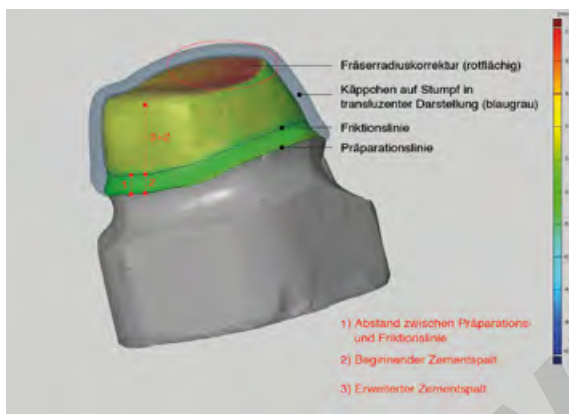


Abb. 9: Darstellung der gesamten abweichenden Fläche einer frästechnisch umgesetzten Kappe.

Der Randspalt aller CAD/CAM-gefertigten Kap-
pen und Brückenglieder ergab im Gesamten einen Mit-
telwert zwischen 40 μm und 70 μm . Bezugnehmend
auf die einzelnen Verfahrenswege kann festgestellt
werden, dass sich die beiden subtraktiven Verfahren,
Fräsen aus Hartmetall (Abb. 10) sowie Sintermetall-
Fräsen, dem additiven Fertigungsverfahren des Selektiven
Laserschmelzens im Rahmen der Untersuchung durch-
schnittlich um 30 μm bzw. 25 μm überlegen darstellen.

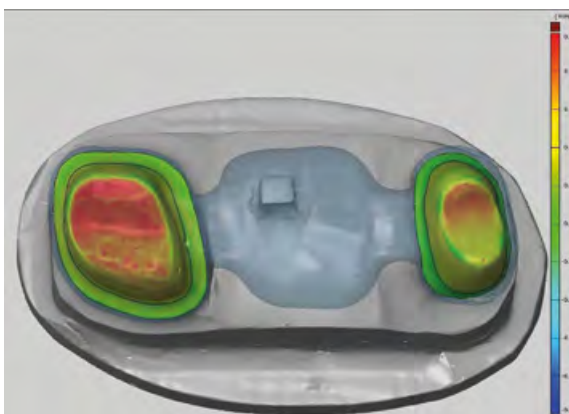


Abb. 10: 3D-Messung einer aus Hartmetall gefrästen dreigliedrigen Brücke.

Schlussfolgerung

Mithilfe computergestützter Verfahrenswege –
additiv und subtraktiv – stehen heute automatisierte
dentale Produktionsverfahren zur Verfügung, mit de-
nen sich klinisch akzeptable Versorgungen herstellen
lassen. Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung
begutachteten Restaurationen stellen allesamt eine ad-
äquate Option zur Eingliederung in den Mund des Pati-
enten dar und erfüllen klinisch erwünschte Soll-Werte
mit Fokus auf die marginale Passform. Durchgängiger
Vorteil der untersuchten CAD/CAM-Prozesse zur
Produktion von CoCr-Prothetik im Vergleich zur
Gusstechnik ist zudem, dass viele Fehlerquellen be-
reits vor der Fertigung erkannt und ausgeschaltet
werden können. Auch mit Blick auf den Kostenfaktor
schneiden computergestützte Verfahren besser ab als
der klassische Guss. Die drei untersuchten Fertigungs-
methoden unterscheiden sich geringfügig im Preis,
wobei das Laserschmelzverfahren die preiswerteste
Wahl darstellt. Insgesamt führte die Real Life-Studie
zu einem positiven Feedback hinsichtlich CAD/CAM-
gefertigter Prothetik aus Cobalt-Chrom.

Die Autoren danken dem Universitätsklinikum
Erlangen, Zahnklinik 2 – Zahnärztliche Prothetik, ins-
besondere Direktor Prof. Dr. Manfred Wichmann, für
die Kooperation und Freistellung der Geräte sowie der
Vergabekommission des ELAN-Fonds des Universitäts-
klinikums Erlangen für die Finanzierung der Studie. ■

Dr. med. dent
Ragai Edward Matta
Erlangen, Deutschland



■ 2004-2009 Zahnmedi-
zinisches Studium an der
Friedrich-Alexander-Universi-
tät Erlangen-Nürnberg

■ 2009 Erteilung der Approbation als Zahn-
arzt

■ 2012 Promotion zum Dr. med. dent.
(magna cum laude) an der Friedrich-Alexan-
der-Universität Erlangen-Nürnberg mit dem
Thema „Umlaufende Passgenauigkeitsanalyse
CAD/CAM-gefertigter Einzelzahnkronen –

eine Pilotuntersuchung zu einem neuartigen virtuellen Analyseverfahren“

- seit 2009 Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Zahnklinik 2 – Zahnärztliche Prothetik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- 2014 Ernennung zum Akademischen Rat des Klinikums der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- Forschungsschwerpunkt: 3D-Untersuchungen CAD/CAM-gefertigter Restaurationen

Kontakt: ragai.matta@uk-erlangen.de

Entwurf