

# Update digitale Zahnmedizin

## Ein Überblick über die neuesten Entwicklungen

Ein Beitrag von Prof. Dr. Daniel Edelhoff und Priv.-Doz. Dr. Florian Beuer, München

*Der rasanten Entwicklung der computergestützt gefertigten Restaurationen kann man sich weder als Zahntechniker noch als Zahnarzt entziehen. Vielmehr wird es auch für technikbegeisterte und interessierte Kollegen immer schwieriger, den Überblick über alle Innovationen und neuen Möglichkeiten zu behalten. Auf der Internationalen Dental Schau (IDS) im vergangenen Jahr in Köln waren 181 Anbieter aus dem Bereich Computer Aided Design (CAD)/Computer Aided Manufacturing (CAM) zu finden.*

Sorgte die Einführung des ersten Chairside-Systems für CAD/CAM-gefertigte Restaurationen im Jahr 1985 für eine Revolution, rief sie gleichzeitig im Kollegenkreis auch Skepsis und Ablehnung hervor. Mehr als 20 Jahre nach Einführung des Cerec 1-Gerätes (damals Siemens Dental, heute Sirona, Bensheim) sind die „Kinderkrankheiten“ der ersten Generation der CAD/CAM-Geräte auskuriert und man spricht bei vielen Anwendungen nicht mehr vom „Goldstandard“, sondern vom „CAD/CAM-Standard“. Die Innovationsrate im Dentalbereich der CAD/CAM-Technik wurde dabei vor allem durch die Verbesserung der Rechnertechnologie ermöglicht. Teilweise eilen zwar die Vorankündigungen mancher Hersteller der tatsächlichen technischen Umsetzbarkeit voraus, dennoch ergeben sich bereits heute technische Innovationen, die das Berufsleben des Zahnarztes und des Zahntechnikers nachhaltig verändern werden.

Lag in den letzten Jahren die Herausforderung in der CAD/CAM-Fertigung von Zahnersatz in gleicher oder besserer Qualität verglichen mit den konventionellen Techniken, versucht man zukünftig digital vorhandene Daten zu kombinieren (Digitales Volumentomogramm, Daten über dynamische Okklusion, Scandaten der Kiefer, Farbmessdaten) und möglichst große Teile der konventionellen Arbeitsweise (Abformung, Implantatplanung) zu ersetzen. Obwohl die rasanten Entwicklungen in der CAD/CAM-Technologie von den Vertretern beider Berufsgruppen nicht immer mit dem angemessenen Interesse wahrgenommen werden, ist deren Bedeutung in Form zahlreicher Fachver-

öffentlichungen und Kongressschwerpunkte sowie einer erhöhten Nachfrage nach fachspezifischen Schulungen klar zu erkennen. Die computergestützte Fertigung von Zahnrestaurationen hat in den letzten Jahren einen stetig steigenden Anteil am Gesamtmarkt übernommen und hat sich in zahlreichen Praxen und Laboratorien inzwischen als akzeptierte Standardmethode etabliert.

### **Wo stehen wir derzeit?**

Die erst in den letzten Jahren wahrzunehmende Akzeptanz wird auf folgende Fakten zurückgeführt:

- Klinische Langzeitstudien mit einer Beobachtungsdauer von zum Teil mehr als zehn Jahren belegen, dass CAD/CAM-gefertigte Restaurationen aus Vollkeramik eine ausgezeichnete Überlebensrate aufweisen.
- Der Preis zahntechnischer Arbeiten ist inzwischen zum zentralen Diskussionspunkt bei der Therapieplanung geworden. Durch eine automatisierte Herstellung wird eine kostengünstigere Produktion in westlichen Industriestaaten ermöglicht und damit die Konkurrenzfähigkeit zu Billiglohnländern gesichert.
- Der rasante Fortschritt in der Computertechnologie ermöglicht inzwischen eine wirtschaftliche Herstellung von Einzelstücken. Die computergestützte Fertigung von Zahnrestaurationen hat dadurch in den letzten Jahren einen stetig steigenden Anteil am Gesamtmarkt übernommen.
- Als wesentliche Errungenschaften des CAD/CAM-generierten Zahnersatzes sind verschiedene Faktoren herauszustellen: der Zugang zu neuen, nahezu fehlerfreien, industriell vorgefertigten Restaurationmaterialien (zum Beispiel Zirkoniumdioxidkeramik, hochvernetzte Polymere), eine mit der standardisierten Verfahrenskette einhergehende Qualitätssteigerung und Reproduzierbarkeit und Speicherung der Daten, eine Verbesserung der Präzision und Planung sowie eine Erhöhung der Effizienz. Dies dürfte für materialsensible Patienten und effektives Qualitätsmanagement in den Zahnarztpraxen und Laboratorien ein wichtiger Fortschritt sein.



Foto: Sirona

Abb. 1: Intraorale Datenerfassung, Einsatz des Cerec AC (Sirona, Bensheim) bei der intraoralen Digitalisierung

- Die Weiterentwicklungen im Bereich der Software und Hardware wie auch die Verfügbarkeit hochinnovativer Werkstoffe lassen zukünftig neue Fertigungswege und Behandlungskonzepte erwarten, die eine weitere Kostenreduktion ermöglichen werden.
- Die mit CAD/CAM unmittelbar in Verbindung stehenden Möglichkeiten einer optischen Abformung und einer elektronischen Vermessung für den virtuellen Artikulator bieten Zahnarzt und Patienten eine interessante Perspektive für eine weniger belastende und damit angenehmere Behandlung.
- Im Rahmen der 3D-Planungen wird es möglich werden, die durch ein Digitales Volumentomogramm (DVT) gewonnenen Daten mit denen eines Intraoralscanners zu kombinieren. Dies führt zu einer besseren Genauigkeit und einer Vereinfachung bei der Therapieplanung des endgültigen Zahnersatzes. Zusätzlich dürften darüber hinaus diese Daten mit denen von Gesichtsscannern kombinierbar sein. Dies würde die Informationsübermittlung an den Zahntechniker verbessern und wesentliche Behandlungssitzungen verkürzen oder erübrigen.

### **Was bringt die digitale Zukunft?**

#### *Intraorale Erfassung*

Einer der nächsten wesentlichen Schritte in der Weiterentwicklung der Datengenerierung ist die Einführung intraoraler digitaler Datenerfassungsgeräte. Diese Entwicklung stellt eine logische Vollendung des CAD/CAM-Fertigungsprozesses dar, bei dem digitale Daten der präparierten Zähne benötigt werden.

Als echte Innovation kann dieser Schritt nicht bezeichnet werden, da die Grundidee der intraoralen Datenerfassung bereits vor mehr als 20 Jahren mit dem Cerec-System in die Zahnmedizin eingeführt wurde. Dieses erste optische Erfassungsverfahren lässt sich jedoch vorwiegend nur auf spezifische Situationen von Einzelzahnrestaurationen anwenden. Neue Systeme wie der Lava Chairside Oral Scanner (COS) (3M Espe) oder der directScan (Hint-Els) arbeiten mit einem Videosignal und nehmen daher eine große Anzahl an Bildern aus der Bewegung heraus auf, die anschließend von der Software zusammengesetzt werden. Zeitgleich werden auf einem Bildschirm die bereits erfassten Kieferbereiche dargestellt und der Bediener erkennt, welche Anteile noch aufgenommen werden müssen (Abb. 1). Mit diesem Verfahren lassen sich präparierte Zähne, ganze Kieferbereiche sowie die antagonistische Be-zahnung aufnehmen. Durch eine vestibuläre Erfassung der Zahnreihen in statischer Okklusion wird es mit dem System ermöglicht, beide Kiefer dreidimensional einander zuzuordnen (Abb. 2a und 2b). Als entscheidender Vorteil der direkten digitalen 3D-Präparationsvermessung wird sich neben der Zeit- und Kostenersparnis eine zeitnahe Qualitäts-



Abb. 2a: Klinische Situation: Präparierte laterale Oberkieferschneidezähne zur Aufnahme einer viergliedrigen vollkeramischen Brücke mit Zirkoniumdioxidgerüst



Abb. 2b: Bildschirmdarstellung beider digitalisierter Kiefer in Schlussbisslage mit der Möglichkeit der 3D-Ansicht

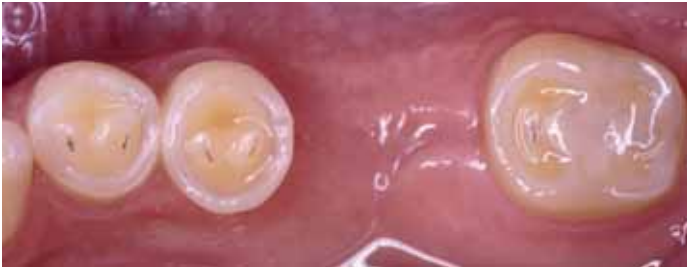


Abb. 3a bis 3d: Neue Restaurationsmöglichkeiten mit non-invasiven Versorgungsungen  
 Abb. 3a: Ausgangssituation: Schalltlücke regio 46 eines Patienten mit generalisier-ten abrasiv-erosiven Kombinationsdefekten der Zahnhartsubstanzen



Abb. 3c: CAD/CAM-Fertigung: Implantatkrone und Onlayschalen aus hochvernetztem Polymermaterial nach der CAD/CAM-Fertigung



Abb. 3b: Implantation: Die Schalltlücke wurde durch ein Implantat mit einem CAD/CAM-gefertigten Abutment aus Zirkoniumdioxidkeramik versorgt.

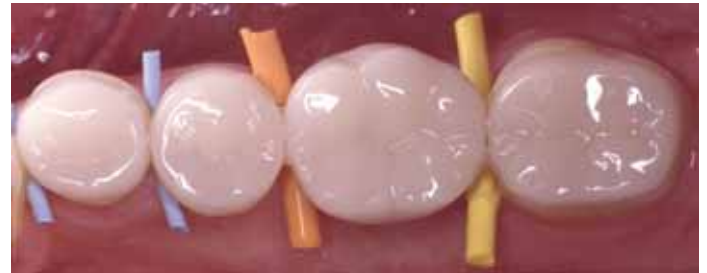


Abb. 3d: Situation nach Eingliederung der Restaurationen: Die Implantatkrone aus hochvernetztem Polymermaterial wurde provisorisch eingegliedert. Die aus dem gleichen Material gefertigten Onlayschalen wurden dagegen ohne jedwede Präparation auf den vorgeschädigten Zähnen dauerhaft adhesiv befestigt. Diese rein additiv ausgerichtete Versorgungsform erfordert durch die Anhebung der Vertikal-dimension keinerlei Abtrag von Zahnhartsubstanz.

kontrolle der Präparationsgeometrie erweisen. Unmittelbar nach dem Scanvorgang wird dem Behandler die Möglichkeit geboten, seine Präparation am Bildschirm in 3D-Ansicht unter multiplen Perspektiven und Detailansichten zu beurteilen. Die CAD-Software könnte auf mögliche Präparationsfehler unter Berücksichtigung der Platzverhältnisse (Materialmindestschichtstärken), des Präparationswinkels, der Präparationsgrenze oder der Einschubrichtung hinweisen. Somit lassen sich Fehler bei der Pfeilerpräparation und Pfeilerausrichtung (gemeinsame Einschubrichtung), die bei herkömmlichen Herstellungsverfahren häufig erst auf dem Meistermodell darstellbar sind, ohne eine zusätzliche Behandlungssitzung direkt unter der noch bestehenden Anästhesie korrigieren und erneut digital erfassen. Dadurch wird die Fertigungskette weiter standardisiert und die Qualität verbessert. Bei aller Euphorie für die neuen intraoralen Scansysteme sind mit dieser Technik zahlreiche Limitationen verbunden – bis zur komplett abformfreien Praxis wird noch etwas Zeit vergehen. Optisch schwer darstellbare Präparationsränder werden auch zukünftig mit herkömmlichen Methoden abgeformt werden müssen. Ideale Voraussetzungen bieten dagegen optisch gut zugängliche

supra- oder equigingivale Präparationen, die sich beispielsweise für Onlayschalen anbieten (Abb. 3a bis 3d). Herkömmliche Gipsmodelle sind in diesem als „Digital Workflow“ bezeichneten Fertigungsverfahren schwer integrierbar. Die Modellherstellung erfolgt durch Stereolithografie (SLA), indem ein Laserstrahl hauchdünne Schichten einer fotosensitiven Epoxyharz-Matrix nacheinander aushärtet und somit ein sogenanntes SLA-Modell entstehen lässt (Abb. 4). Während das Zirkoniumdioxidgerüst rein digital aufgrund des intraoral gewonnenen Datensatzes durch ein CAD/CAM-System erstellt werden kann, erfordert die spätere manuelle Verblendung zwingend ein Modell, um die Kontaktposition zum Gegenkiefer und den Nachbarzähnen darstellen zu können. Bei gleichzeitiger digitaler Verblendung (CADon, Ivoclar Vivadent; DVS, 3M Espe) könnte auf ein Modell verzichtet werden (Abb. 5). Werden Zirkoniumdioxidgerüste auf SLA-Modellen geliefert, muss ein Umdenken beim Zahnarzt und Zahntechniker stattfinden – das Modell bietet keine Kontrollfunktion mehr. Durch die stereolithografische Herstellung ist das Modell ungenauer als das Gerüst, gleichzeitig entfällt die Kontrollfunktion, da Modell und Gerüst aus dem gleichen Datensatz gefertigt wurden.



Abb. 4: Stereolithografisches Modell: Das abgebildete Brückengerüst aus Zirkoniumdioxidkeramik (Typ Lava Frame) wurde im „Digital Workflow“ – auf der Grundlage intraoral erfasster Daten – erstellt. Das im Rapid Prototyping-Verfahren hergestellte stereolithografische Modell dient dem Zahntechniker lediglich zur Anfertigung der Verblendung.



Abb. 5: Zirkoniumdioxidkrone mit digital erstellter Verblendung (Digital Veneering System DVS, 3M Espe) im Querschnitt



Abb. 6a: Virtueller Artikulator in Schlussbisslage

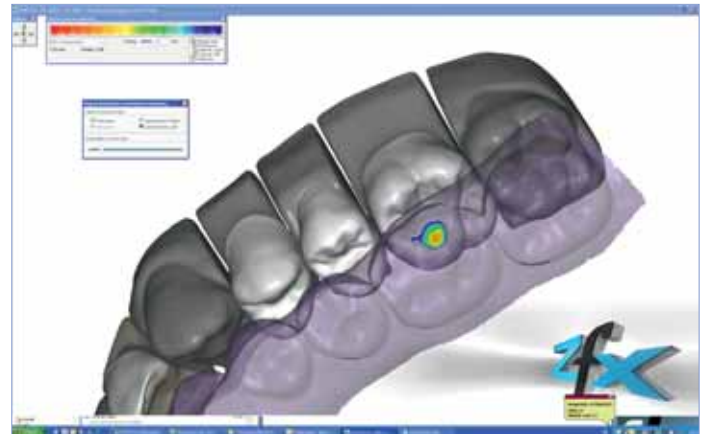


Abb. 6b: Darstellung der Kontaktposition bei simulierter Laterotrusion nach links



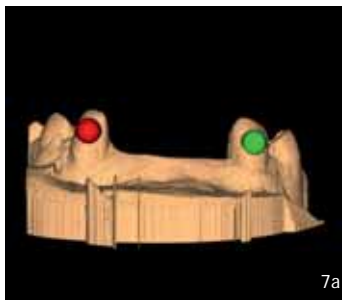
Abb. 6c: Darstellung der Kontaktposition bei simulierter Protrusion

Weitere mögliche Einsatzgebiete ergeben sich in der Archivierung der 3D-Daten jugendlicher Zähne eines Patienten in einer eigenen Datenbank. Diese 3D-Daten der originalen Zahnformen könnten in ihrer Grundmorphologie für später anfallende Restaurationen übernommen werden. Zudem bieten intraorale Erfassungen zu verschiedenen Behandlungszeitpunkten interessante Optionen für

Verlaufs- und Erfolgskontrollen längerfristiger zahnärztlicher Behandlungen, wie beispielsweise in der Kieferorthopädie. Derzeit befinden sich die intraoralen Erfassungssysteme in der klinischen Testphase.

#### *Kombination von digitalen Daten*

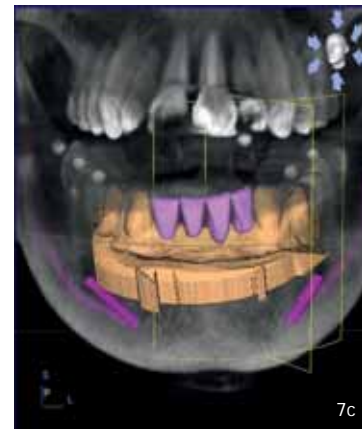
Die Software-Programme der derzeitigen CAD/CAM-Systeme werden zukünftig in der Lage sein, weitere für die Herstellung der Restauration erforderliche digitale Daten zu integrieren. Sinnvoll wäre es beispielsweise die Daten eines elektronischen Farbmesssystems oder eines digitalen Axiografiesystems aufzunehmen. Die Kombination dieser Systeme und die Integration der gewonnenen Informationen bei der Fertigung des Zahnersatzes in ein CAD/CAM-System stellen eine logische Konsequenz für ein vereinfachtes und praxisnahes Vorgehen dar. Vor allem bei vollanatomischen Monoblockrestaurationen könnten die elektronische Farbbestimmung wie auch die Information über Kieferbewegungen und deren Integration in einen virtuellen Artikulator die Fertigung von Zahnersatz deutlich effizienter gestalten (Abb. 6a



7a



7b



7c

Abb. 7a bis 7c: Neue Möglichkeiten bei den bildgebenden Verfahren. Integration der Daten des Intraoralscanners (7a) in die durch das DVT gewonnenen Daten (7b): Überlagerungsansicht (7c).

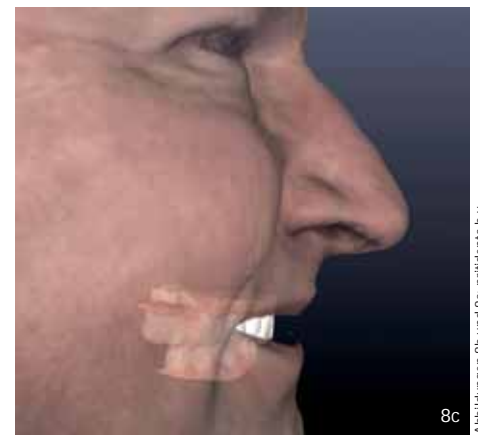
Abbildungen 7a bis 7c: SICAT, Priv.-Doz. Dr. J. Neugebauer, Universität Köln



8a



8b



8c

Abb. 8b und 8c: Durch eine spezielle Software können Überlagerungen mit digitalisierten Kiefermodellen sowie virtuelle Einproben verschiedener Zahnformen für den definitiven Zahnersatz vorgenommen werden.

Abbildungen 8b und 8c: prifidemia b.v.

Abb. 8a:  
Gesichtsscanner zur  
Digitalisierung der  
Außenkontur des  
Gesichtsschädels

bis 6c). Okklusales Einschleifen würde sich auf ein Minimum reduzieren lassen.

Denkbar wäre zudem, dass die zukünftige Konstruktionssoftware unter Berücksichtigung bestimmter patientenspezifischer Parameter (wie beispielsweise vorhandene Platzverhältnisse und Anzahl der zu ersetzenden Zähne) eine dem Anforderungsprofil entsprechende Materialempfehlung ausgibt, die, gestützt auf Forschungsergebnisse, einen zufriedenstellenden Langzeiterfolg der Restauration garantiert.

Sehr interessant ist die Kombination von digitalen Daten der Alveolarfortsätze und der Kiefer (durch intraorale Erfassung oder Modellschscan) mit den Daten aus der dreidimensionalen Bildgebung (DVT oder Computertomogramm) (Abb. 7a bis 7c). Hier kann die gesamte Implantatplanung virtuell vorgenommen und auf eine Radiologieplanungsschablone verzichtet werden. Aus den digitalen

Planungsdaten wird dann eine Implantatbohrschablone erstellt. Durch die Kombination extroraler Scandaten (Abb. 8a) mit den Daten der Zahnreihen lassen sich Zahnersatzplanungen virtuell im Gesichtskontext betrachten (Abb. 8b und 8c). Somit können zum Beispiel Veränderungen der Vertikaldimension auf das Gesichtprofil vor Behandlungsbeginn simuliert und beurteilt werden.

#### *Innovation im Fertigungsbereich*

Die zu erwartenden Innovationen im Bereich der Fertigung sind vielschichtig und können daher im Beitrag nur angeschnitten werden. Der wichtigste zu erwartende Schritt ist der Wechsel vom subtraktiven Bearbeiten durch Schleif- und Fräsprozesse, bei dem ein erheblicher Anteil hochwertiger Materialien ungenutzt bleibt, zu additiven Herstellungsverfahren, die heute oft unter dem Begriff „Rapid Prototyping“ zusammengefasst werden. Diese generativen Fertigungsverfahren finden im Dentalbereich bereits Verwendung. In einigen Fertigungszentren werden bereits Lasersinter-Anlagen zur Herstellung von Kronen- und Brückengerüsten aus Kobalt-Chrom-Legierungen eingesetzt. Da die Pro-

duktivität solcher Anlagen sehr hoch ist, können Nicht-Edelmetall (NEM)-Gerüste damit sehr kostengünstig hergestellt werden. Grundsätzlich ermöglicht diese Technik die Herstellung von Geometrien, die frästechnisch nicht umgesetzt werden können. Für den Zahnarzt bedeutet dies, dass sich der Indikationsbereich für CAD/CAM-gefertigte Restaurationen nochmals erweitern würde und bisherige Limitationen frästechnischer Verfahren umgangen werden. Wird diese Technologie bereits routinemäßig für die direkte Herstellung von Metallgerüsten eingesetzt, gestaltet sich die additive Herstellung von keramischen Werkstoffen deutlich komplizierter. Im Bereich der Grundlagenforschung wurden jedoch in den letzten Jahren auch bei den Hochleistungskeramiken mit verschiedenen Konzepten Fortschritte erzielt. Bis zur Markteinführung dürften jedoch noch einige Jahre vergehen.

#### *Entwicklungen im Materialbereich*

Materialtechnisch sind bereits in den letzten Jahren zahlreiche neue Werkstoffklassen für die CAD/CAM-Verarbeitung eingeführt worden. Neben interessanten zusätzlichen Varianten von Zirkoniumdioxidkeramiken rücken aufgrund der geringen Kosten zunehmend hochvernetzte Kunststoffe oder Composite, die teilweise als Halbzeuge verfügbar sind, in den Mittelpunkt des Interesses (Abb. 9). Aus klinischer Sicht bieten CAD/CAM-generierte Langzeitprovisorien eine vielversprechende Perspektive, da der CAD-generierte Restaurationsvorschlag zunächst nach funktionellen und ästhetischen Gesichtspunkten vom Patienten Probe getragen werden kann. Die Herstellung der definitiven Restauration kann nach erfolgreicher klinischer Testphase auf der Basis des vorliegenden digitalen Datenmaterials erfolgen. CAD/CAM-technisch stellt dies damit lediglich eine Umsetzung der durch das Provisorium erarbeiteten Form in ein definitives Restaurationsmaterial dar.

All diese Innovationen und Weiterentwicklungen zeigen, dass die CAD/CAM-Technologie noch ein enormes Entwicklungspotenzial aufweist und einen immer bedeutenderen Anteil in der täglichen Praxis einnehmen wird, mit vielen Vorteilen für das restaurative Team und die Patienten.

#### **Zusammenfassung**

Bereits heute ist die CAD/CAM-Technologie ein wichtiger Bestandteil des zahnmedizinischen und zahntechnischen Alltags. Die zunehmende Digita-



Foto: piffidenta b.v.

Abb. 9: Präfabrizierte Kronen aus Glaskeramik für den permanenten Zahnersatz. Durch industrielle Vorfertigung als sogenanntes „Halbzeug“ kann die CAD/CAM-Bearbeitung erheblich verkürzt und bereits eine Dentin-Schneide-Schichtung eingearbeitet werden. Die Kronen sind in verschiedenen Formen, Größen und Farben verfügbar.

lisierung der übrigen analogen Arbeitsschritte wie Abformung und Verblendung wird das Berufsbild des Zahnarztes und des Zahntechnikers nachhaltig verändern. Die Herstellung von herausnehmbarem Zahnersatz und Totalprothesen mit digitalen Technologien bietet ein hohes Potenzial an zukünftigen Erleichterungen und Verbesserungen. Dazu muss aber neben dem intraoralen Erfassen der Daten ein geeigneter virtueller Artikulator mit einer entsprechenden Fertigungstechnologie verknüpft werden. Man darf gespannt in die Zukunft blicken.

Gleichzeitig sollten wir allerdings nie aus den Augen verlieren, dass all diese Technologien kein Selbstzweck sind und sich nur dann durchsetzen werden, wenn nachhaltige Verbesserungen im Vergleich zur herkömmlichen Herstellung vorliegen.

Korrespondenzadresse:  
Prof. Dr. Daniel Edelhoff  
Leitender Oberarzt  
Poliklinik für zahnärztliche Prothetik  
Ludwig-Maximilians-Universität München  
Goethe Straße 70  
80336 München  
daniel.edelhoff@med.uni-muenchen.de

Literatur bei den Verfassern