

Peter Gehrke, Björn Roland, Carsten Fischer

CAD/CAM in der Implantatprothetik

Teil 2: Eine Übersicht systemimmanenter Möglichkeiten herausnehmbarer Lösungen



Peter Gehrke
Dr. med. dent.
Prof. Dr. Dohm & Partner
Bismarckstraße 27
67059 Ludwigshafen

Björn Roland
Zahntechnikermeister
Raiffeisenstraße 7
55270 Klein-Winterheim

Carsten Fischer
Zahntechniker
Lyoner Strasse 44-48
60528 Frankfurt

Kontaktadresse:
Dr. Peter Gehrke
E-Mail:
dr-gehrke@prof-dhom.de

INDIZES *Implantatprothetik, CAD/CAM, digitale Prozesskette, Stege, Teleskope, Zirkoniumdioxid, Titan*

Die CAD/CAM-Technologie ermöglicht es Behandler wie Zahntechniker, Patienten implantatprothetisch auf einem jederzeit reproduzierbaren Qualitätsniveau zu versorgen, das manuell bzw. analog nicht oder nur äußerst schwer zu erreichen war. Moderne Werkstoffe wie Zirkoniumdioxid, Titan, NEM können in einer Präzision be- und verarbeitet werden, die es erlaubt, dem Patienten seriöse Vorhersagen zu Funktionalität und Ästhetik prothetischer Versorgungsoptionen zu machen. Nicht nur bei festsitzenden Suprakonstruktionen, sondern gerade auch bei herausnehmbaren Lösungen kommt es im Sinne einer dauerhaften funktionellen und ästhetischen Integration des implantatgestützten Zahnersatzes auf die möglichst präzise Fertigung der Restauration an. Der Artikel gibt einen Überblick, wie mit von den Autoren verwendeten Werkstoffen, Systemen und Verfahren dieses Ziel – festsitzend obwohl nicht festsitzend – erreicht werden kann.

■ Einleitung

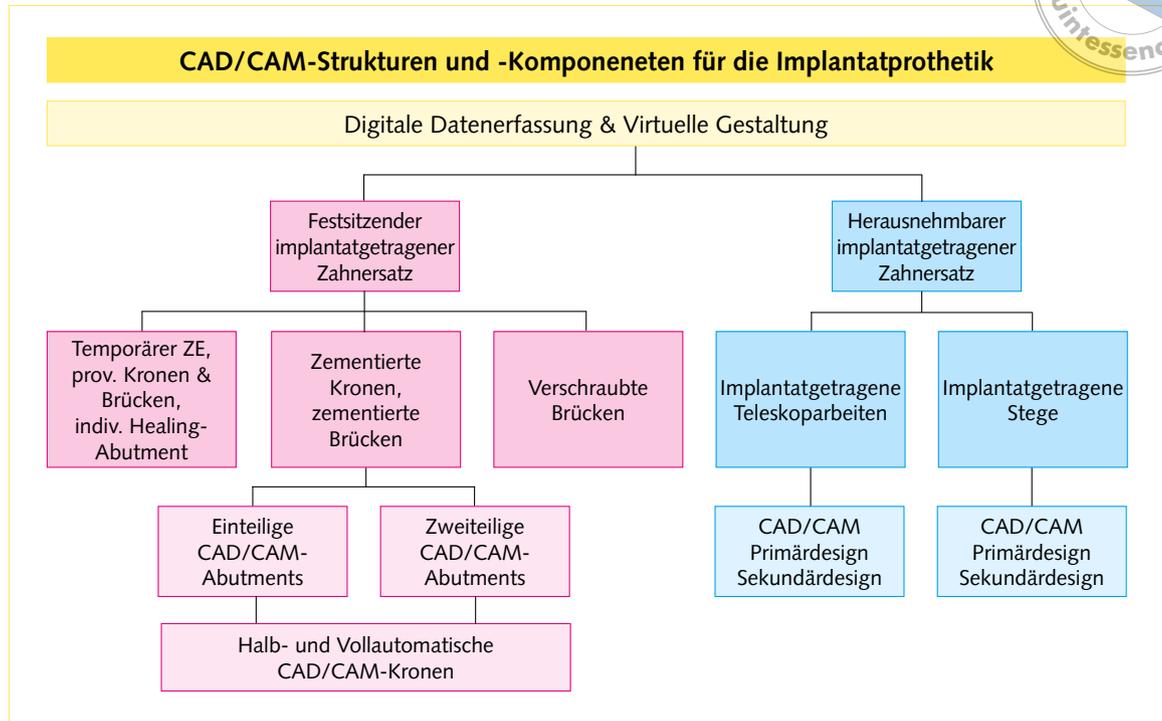
Im ersten Teil (Implantologie 2011;19:275–286) wurden an Fallbeispielen verschiedene CAD/CAM-generierte, festsitzende Restaurationen bzw. deren Komponenten dargestellt: provisorische Kronen und Brücken als temporärer Zahnersatz, individuelle Abutments, zementierte Einzelkronen sowie zementierte und verschraubte Brücken. Dieser zweite Teil behandelt CAD/CAM-generierte herausnehmbare Versorgungsbauwerke bzw. ihre Komponenten: Teleskoparbeiten, Stege und deren CAD/CAM-basiertes Primär- und Sekundärdesign. Er beschreibt die Möglichkeiten, welche Versorgungsarten im digitalen Workflow zur Verfügung stehen, unabhängig davon, welches Therapiekonzept im Einzelfall anzuraten wäre. Versorgungsoptionen auf der Basis von einem oder zwei Implantaten im zahnlosen Kiefer

sind jedoch nicht Gegenstand des Artikels. So haben Weng et al. in einer Studie gezeigt, dass Teleskopprothesen, die lediglich auf zwei Pfeilern – unabhängig davon, ob zahn- oder implantatverankert – im Eckzahnbereich des Oberkiefers abgestützt sind, keine gute Prognose haben¹.

Die Voraussetzungen für die digitale Planung und Fertigung herausnehmbarer Restaurationen – ein moderner Scanner zur digitalen Erfassung und eine entsprechende Gestaltungssoftware – unterscheiden sich nicht von denen festsitzender Suprakonstruktionen. Sie wurden im ersten Teil bereits näher beschrieben. Ebenso greifen die Autoren wiederum auf die von ihnen primär verwendeten Systeme, Verfahren und Materialien der Firmen 3Shape (Dänemark) mit Scanner D810 und DentalDesigner sowie Dentsply Friadent (Mannheim), DeguDent (Hanau) und E.S. Healthcare (Belgien) mit Scan-

Manuskript
Eingang: 18.04.2012
Annahme: 13.06.2012

Abb. 1 Übersicht CAD/CAM-generierbarer Strukturen und Komponenten für die Implantatprothetik.



ner und Software Cercon eye beziehungsweise Cercon art sowie Compartis Scan&Design-Service, Planungssoftware ExpertEase, Implantate XiVE und Ankylos, lokale Fertigung Cercon brain expert und zentrale Fertigung by Compartis zurück.

■ Versorgungsoptionen mit herausnehmbarem, implantatgetragendem Zahnersatz

Für eine patientenorientierte Therapie in Bezug auf festsitzend oder herausnehmbar sind verschiedene Entscheidungskriterien abzuwägen (Abb. 1). Neben der intraoralen Situation und ihren biomechanischen, funktionellen, biologischen und ästhetischen Parametern sind besonders bei fortgeschrittener Atrophie der Hart- und Weichgewebe auch extraorale Aspekte zu beachten. Hygienefähigkeit der Restauration, Alter und Compliance der Patienten und nicht zuletzt ihre finanziellen Möglichkeiten sind weitere Faktoren, die zu einer Entscheidung für herausnehmbare Restaurationen und deren fall-spezifischen Vorteile führen können. Hier sind das parodontal defizitäre Lückengebiss mit bukkalen Kammdefiziten oder der zahnlose Kiefer zu nennen,

wo mit der Prothesenbasis verloren gegangene Gewebestrukturen ohne augmentative Eingriffe bei dennoch hohem Kau- und Tragekomfort kompensiert werden können.

Sodann können herausnehmbare Versorgungsoptionen mit modernen CAD/CAM-Verfahren mit hoher Präzision und Kosteneffizienz – vor allem gegenüber gegossenen Edelmetallkonstruktionen – angefertigt werden. Da sich sowohl Zirkoniumdioxid wie auch Titan und Kobalt-Chrom verarbeiten lassen, ist zudem eine maximale Materialhomogenität erreichbar, während man werkstofflichen Limitationen nur in geringem Umfang unterworfen ist. Neben der Biokompatibilität und Korrosionsresistenz der eingesetzten Werkstoffe trägt gerade auch die hohe Präzision CAD/CAM-gefertigter Strukturen zum Gewebeerhalt bei.

CAD/CAM-gefertigte Primärkronen aus Zirkoniumdioxid sind nicht nur verfahrenstechnisch eine Alternative aus dem Grund, weil der herkömmliche, sehr diffizile und komplexe Herstellungsablauf mit Parallelometer-Fräsung und Goldguss entfällt. Nach Erfahrung der Autoren sind verstärkt bei weiblichen Patienten die Bedenken ob des Demaskierungseffekts bei Verwendung von Zirkon weniger stark.

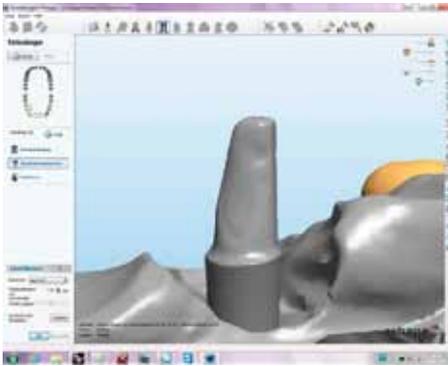


Abb. 2 Das eingescannte, individualisierte Titanabutment als Ausgangsbasis für die virtuelle Gestaltung.

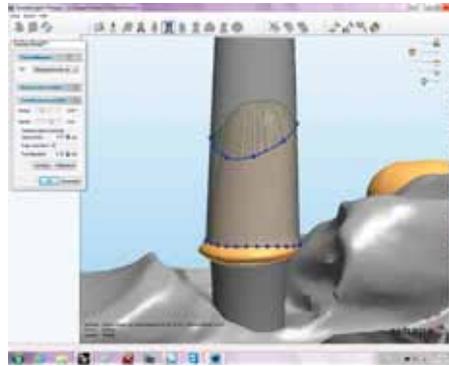


Abb. 3a Virtuelle Randgestaltung sowie Festlegung der Höhe und des 2°-Korridors für eine Primärstruktur in Regio 22.



Abb. 3b Fertig designte Primärstruktur (durchscheinend mit erkennbarem koronalem Zementspalt).

■ CAD/CAM-gestützte Herstellung von Primärkronen

Für die CAD/CAM-gestützte Herstellung von Primärkronen bieten sich primär zwei Verfahrensweisen an. Zum einen ist das individuelle Anfertigen von einteiligen, monolithischen Aufbauten aus Zirkoniumdioxid oder auch Titan zu nennen. Hierfür werden die Positionen der Implantate über Scanbodies erfasst, die Aufbauten virtuell designt und anhand der gewonnenen Datensätze lokal im Labor oder in einem Fertigungszentrum gefräst. Neben dem Wegfall diverser Arbeitsschritte werden diese einteiligen Aufbauten nicht mehr verklebt, sondern verschraubt. Die Schraubenkanäle bleiben in der Regel frei, sodass sich die Schrauben bei eventuellen Komplikationen wie Schraubenlockerungen ohne Perforation des Aufbauteils nachziehen lassen. Allerdings können sich bei diesem Vorgehen Lage und Ausdehnung der Schraubenkanalöffnung nachteilig auf die Retention auswirken sowie bei Abnahme der Versorgung zur Reinigung die Schraubenkanäle sichtbar werden.

Bei der zweiten, von den Autoren angewandten Vorgehensweise, werden die Primärkronen aus Zirkoniumdioxid auf zwar konfektionierte, entsprechend der Wachsaufstellung jedoch individualisierte Aufbauten zementiert. Sind die Aufbauten eingescannt, werden mit der Gestaltungssoftware die Primärteleskope für jedes Abutment individuell mit dem virtuellen Wachsmesser konstruiert, wobei die Innenpassung der Primärkronen optimal der jeweiligen Abutmentform angepasst wird. Ebenso kann die Parallelität der Teleskope zueinander bzw. die Gesamteinschubrichtung am Bildschirm festgelegt werden. Auch das Finden der

optimalen Wandstärke wird von der Software unterstützt, indem beispielsweise zu geringe Wandstärken angezeigt werden. Konuswinkel und Mindesthöhe der Konusfläche können ebenfalls definiert werden. Anhand der gewonnenen Daten können die Primärkronen wiederum lokal im Labor oder in einem Fertigungszentrum frästechnisch hergestellt werden. Anschließend werden sie im Labor unter Wasserkühlung im Parallelfräsgerät feingeschliffen und mit Diamantpolierpaste auf Hochglanz gebracht. Eine „anschließende manuelle Politur der Konuskronen (kann) die exakt glatte Oberfläche“ jedoch wieder zerstören².

Sollte sich bei Kombiarbeiten aufgrund zu starker Disparallelitäten zwischen Zahnstümpfen und Abutments eine einheitliche Einschubrichtung nur sehr schwer erreichen lassen, ist die Verwendung präfabrizierter angulierter Abutments in Erwägung zu ziehen. Zudem kann es hier zu Problemen in der frästechnischen Herstellung kommen.

Die Feingold-Matrizen (Sekundärteile) werden in beiden Verfahren direkt auf den Zirkoniumdioxid-Aufbauten bzw. den Primärteilen galvanisch abgetrennt. Um eine gute Adhäsionswirkung der Galvanosekundärteile zu erreichen, empfiehlt es sich, die Primärstruktur zuvor mit einer dünnen Schicht Silberleitlack zu überziehen (Abb. 2 bis 7).

■ Tertiärgerüst im CAD/CAM-Verfahren

Statt die Tertiärstruktur herkömmlich zu gießen, kann sie nach vorheriger CAD-Konstruktion im Lasersinterverfahren hergestellt werden. Hierfür werden



Abb. 4 Lagegerechte Darstellung der virtuell geplanten Primärstrukturen im Oberkiefer zu den ebenfalls virtuell geplanten Gerüststrukturen im Unterkiefer.



Abb. 5 Die CAD/CAM-generierten Matrizen werden im Parallelfräsgerät unter Wasserkühlung feingeschliffen.



Abb. 6 Die Sekundärstruktur wird direkt auf den Matrizen galvanisch abgeschieden.



Abb. 7 Die herkömmlich gegossene Tertiärstruktur wird intraoral mit den Matrizen spannungsfrei verklebt.

nach Fertigstellung der Galvanosekundärteile ein Scan des Meistermodells mit Primärteilen und aufgesteckten Galvanosekundärteilen angefertigt sowie das Bissregistrat und das Gegenkiefermodell eingescannt. In der CAD-Software werden ähnlich wie bei der Konstruktion einer Brücke zunächst die Abschlussränder und anschließend die Einschubrichtung für das Tertiärgerüst festgelegt sowie das Design erstellt. Ein großer Vorteil gegenüber der „manuellen“ Technik ist das genaue Festlegen der Parameter wie Zement- bzw. hier Klebespalt. Die definitive Fertigung erfolgt über ein Fertigungszentrum. Anschließend wird das Tertiärgerüst intraoral analog des Weigl-Protokolls³ mit den Matrizen spannungsfrei verklebt, nachdem zuvor die Primärteile auf den definitiv verschraubten Implantataufbauten zementiert wurden.

Die CAD/CAM-Fertigung einer Tertiärstruktur zeigt sich insofern vorteilhaft, als auch bei beengten Platzverhältnissen die Wandstärken gleichmäßig gestaltet werden können und eine hohe Materialhomogenität erreicht wird (Abb. 8 bis 10).

■ CAD/CAM-generierte Stegversorgungen

In der Herstellung komplexer Suprakonstruktionen, wie sie ein Steg darstellt, hat die CAD/CAM-Technologie verfahrens- und materialtechnische Versorgungsoptionen eröffnet. Beim herkömmlichen Gussverfahren sind vor allem bei weitspannigen Konstruktionen Risiken wie Porositäten und Verzüge nicht vollends auszuschließen. Solche methodenbedingte Probleme machen oftmals eine sekundäre Passivierung oder bei einem mechanischen Versagen der Konstruktion eine kostspielige und für alle Beteiligten unangenehme Neuanfertigung notwendig. Durch die CAD/CAM-Technologie wurde jedoch nicht nur die Fertigung eines spannungsfrei sitzenden Stegs aus Reintitan oder einer Cobalt-Chrom-Molybdän-Legierung möglich, sondern erstmalig konnte auch Zirkoniumdioxid als Gerüstmaterial für einen verschraubten Steg verwendet werden. Durch die CAM-Fertigung ent-



Abb. 8 Scan der Galvanokappen als Grundlage für das CAD-Design der Tertiärstruktur.

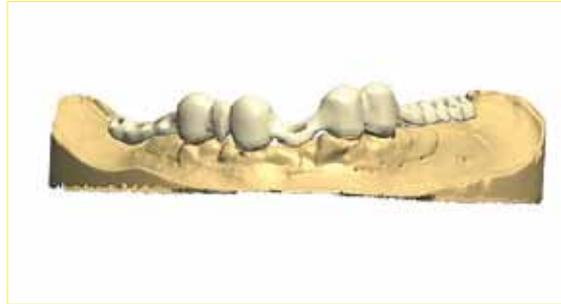


Abb. 9a Frontalansicht CAD-Design der Tertiärstruktur.



Abb. 9b Okklusalanzeige CAD-Design der Tertiärstruktur.

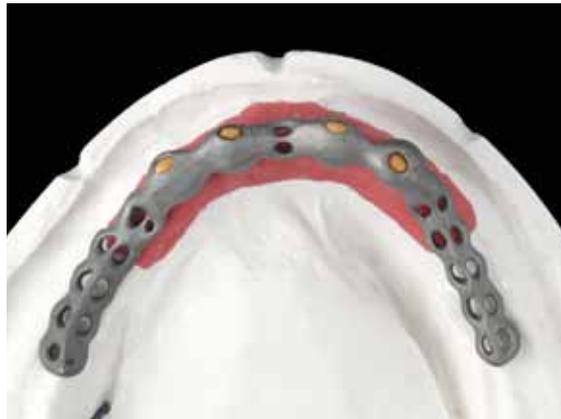


Abb. 10 Im Lasermeltingverfahren hergestellte Tertiärstruktur.

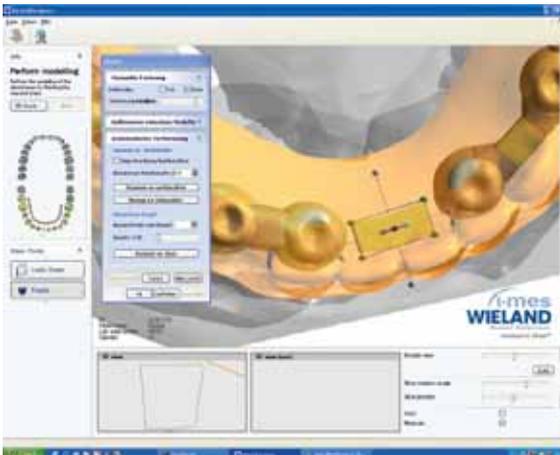


Abb. 11a Konstruktion der Stegelemente.

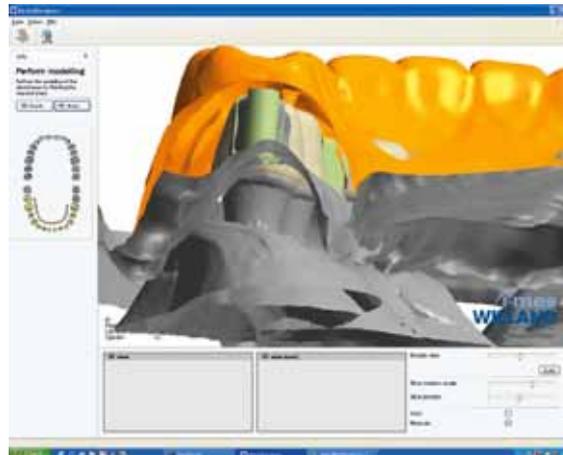


Abb. 11b Virtuelle Ansicht von Modell und Zahnaufstellung zur Festlegung der Stegmaße.

fällt aufgrund der hohen frästechnischen Präzision das vielfach aufwändige Nachbearbeiten wie bei herkömmlichen Gussprodukten. Industriell vorgefertigte Marken-Fräsblanks aus dem gewählten Werkstoff garantieren eine hohe Materialhomoge-

nität und bilden die Grundlage für eine langlebige Konstruktion (Abb. 11 und 12)⁴⁻⁷.

Für den digitalen Fertigungsprozess werden, unabhängig vom Gerüstwerkstoff, Position und Ausrichtung der Implantate über Scanbodies erfasst,



Abb. 12a und b Gefräster und polierter Zirkondioxidsteg auf Meistermodell von frontal und okklusal (auf Titanbasen verschraubt).



Abb. 13 Detailaufnahme des ZrO_2 -Stegs mit Galvano-Sekundärstruktur und Geschiebe.



Abb. 14 Eingescante Aufstellung als Voraussetzung für eine Dimensionskontrolle.

nachdem zuvor die Genauigkeit der Abformung mit dem Sheffieldtest kontrolliert wurde. Mit einem weiteren Scan der definitiven Zahnaufstellung liegen bereits alle notwendigen Daten – einschließlich der Ausrichtung zur Kauebene – für die virtuelle Stegkonstruktion vor. Scannen und Gestaltung kann im entsprechend ausgestatteten Labor oder, wie in unserem Fall, über ein Scan- und Designcenter (hier ISUS Compartis) erfolgen. Mit einer entsprechenden Software lässt sich die Konstruktion von allen Seiten betrachten und mit Querschnittsbildern der Aufstellung die Dimensionierung der Stegstruktur verlässlich überprüfen. Bei der Stegkonstruktion ist man nicht auf ein bestimmtes Design beschränkt, sondern kann indikationsspezifisch zwischen allen bekannten Formen – vom Rundsteg bis zum Gelenksteg – und Retentionselementen wählen. Zudem

bedarf die mit modernen Fräsmaschinen erzielbare Oberflächengüte in der Regel kaum der Nacharbeit (Abb. 14 bis 17).

■ Computergestützte Konstruktion und Fertigung von Sekundärstrukturen

Neuerdings ermöglichen moderne digitale Verfahren auch die computergestützte Konstruktion und Fertigung der Sekundärstrukturen (Compartis ISUS). Wie im nachfolgend skizzierten Fall können Ober- und Unterkiefer auch parallel versorgt werden. Hierzu werden Meistermodelle, Zahnfleischmasken und Zahnaufstellungen an das Scan- und Designcenter gesendet. Letztere sind ausschlaggebend für die



Abb. 15a und b Präziser Sitz eines CAD/CAM konstruierten und generierten Titanstegs mit Riegel (Compartis ISUS) von okklusal und frontal.



Abb. 16 Tertiärstruktur mit Riegel und galvanisierter Sekundärstruktur.

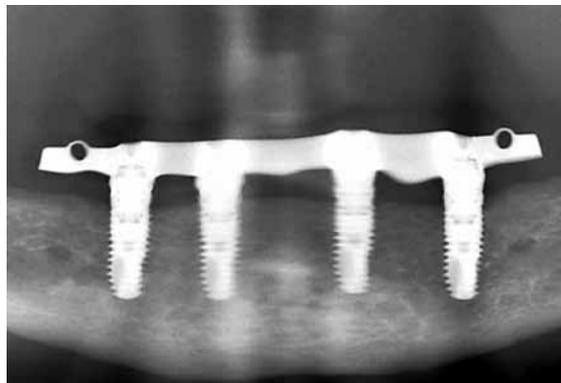


Abb. 17 Die Röntgenaufnahme bestätigt die hochpräzise Passung der Konstruktion (Compartis ISUS).

dimensionsgerechte Gestaltung der Gerüststrukturen. Die Autoren bevorzugen die Stegbefestigung auf Abutmentebene, da hier nicht nur für den Patienten das Handling angenehmer ist. Der subgingival liegende Randspalt sollte aufgrund der aufeinander abgestimmten und industriell gefertigten Komponenten höchstmöglich bakteriendicht sein, hierzu fehlen jedoch derzeit noch entsprechende Langzeitstudien. Der Behandler kann die Passung des Stegs auf Gingivaebene präziser kontrollieren.

Die vom Scan- und Designcenter gemachten Konstruktionsvorschläge beider Strukturen werden mit einer entsprechenden Viewer-Software überprüft, bei Bedarf verändert und freigegeben. Zu beachten ist, dass es in dieser Prozesskette keine manuelle Kontrollmöglichkeit mit einem Silikonschlüssel mehr gibt. Insofern kommt es auf höchstmögliche Präzision bei

allen Arbeits- und Kontrollschritten an. Die frästechnisch passgenau hergestellten Strukturen aus Reintitan müssen jedoch in aller Regel nur noch marginal nachgearbeitet werden (Abb. 18 bis 22).

■ Kritische Würdigung der CAD/CAM-Optionen

Innerhalb der digitalen Prozesskette sollen neuere CAD/CAM-Verfahren die Vorhersagbarkeit der implantologischen Behandlungsergebnisse ermöglichen, die zahntechnischen Arbeitsschritte optimieren und die prothetische Passgenauigkeit maximieren. Eine intelligente, prothetisch orientierte Software macht Gestaltungsvorschläge und gibt materialspezifische Warnhinweise, zum Beispiel bei

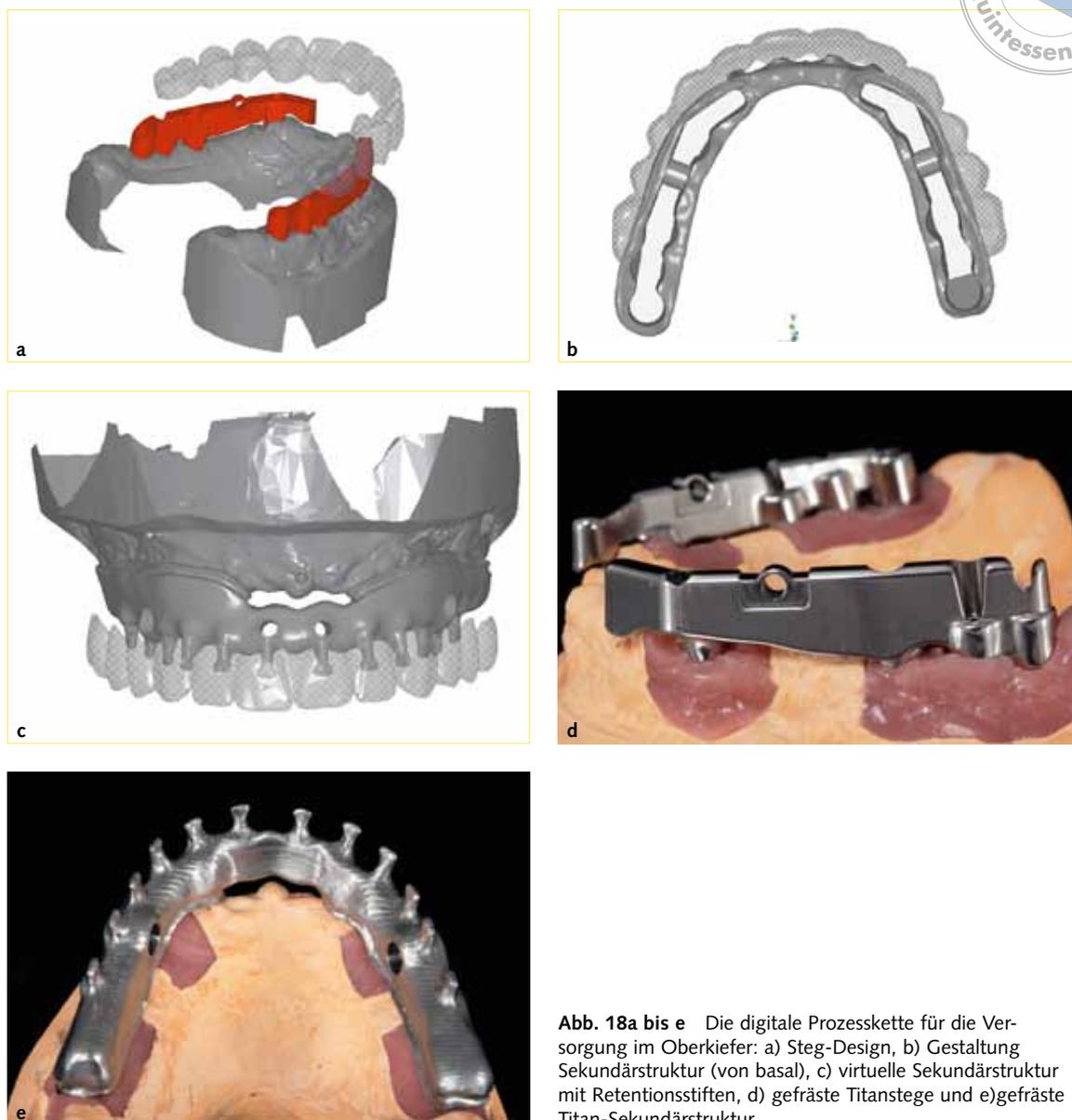


Abb. 18a bis e Die digitale Prozesskette für die Versorgung im Oberkiefer: a) Steg-Design, b) Gestaltung Sekundärstruktur (von basal), c) virtuelle Sekundärstruktur mit Retentionsstiften, d) gefräste Titanstege und e) gefräste Titan-Sekundärstruktur.

zu dünnen Wandstärken oder zu schwachen Verbinderkonstruktionen. Die Entscheidung über das definitive Design einer Suprakonstruktion liegt jedoch nach wie vor beim klinisch erfahrenen Prothetiker und seinem Zahntechniker.

Beuer et al. weisen in ihrem Artikel aus 2010 in dieser Zeitschrift unter Bezug auf zahlreiche Literaturquellen darauf hin, „dass CAD/CAM-gefertigte Restaurationen aus Vollkeramik eine ausgezeichnete Überlebensrate aufweisen.“ Weiterhin konstatieren die Autoren: „Als wesentliche Errungenschaften des CAD/CAM-generierten Zahnersatzes sind der Zugang zu neuen, nahezu fehler-

freien, industriell vorgefertigten Restaurationsmaterialien (zum Beispiel Zirkoniumdioxid-Keramik, hoch vernetzte Polymere), eine mit der standardisierten Verfahrenskette einhergehende Qualitätssteigerung, Reproduzierbarkeit und Speicherung der Daten, eine Verbesserung der Präzision und Planung sowie eine Erhöhung der Effizienz herauszustellen. Dies dürfte (...) für ein effektives Qualitätsmanagement in den Zahnarztpraxen und Laboratorien ein wichtiger Fortschritt sein“⁸

So ist die Verwendung von Hochleistungsoxidkeramiken erst durch die digitale Verfahrenskette wirtschaftlich vertretbar geworden. Mit frästech-

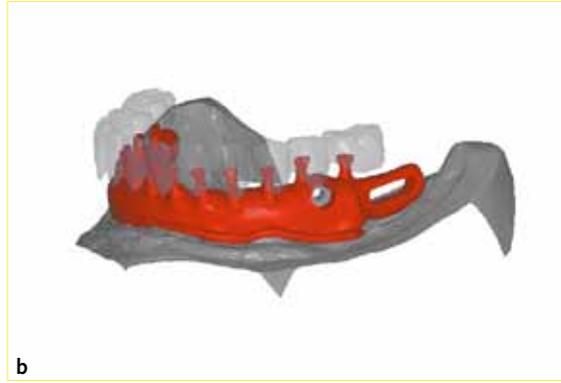
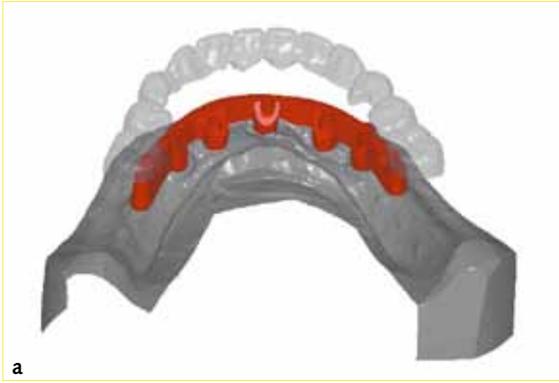


Abb. 19a bis d Die digitale Prozesskette für die Versorgung im Unterkiefer: a) Steg-Design, b) virtuelle Sekundärstruktur mit Retentionsstiften, c) gefräster Titansteg und d) gefräste Titan-Sekundärstruktur.



Abb. 20 In der Gegenüberstellung: die virtuell gestaltete und 1:1 industriell gefräste Sekundärstruktur.



Abb. 21 Spannungsfrei verschraubte Titanstege für Ober- und Unterkiefer in situ (Ansicht in Schlussbisslage).

Abb. 22 Die definitive Arbeit in situ: Mit der steggetragenen Versorgung konnte die große vertikale Distanz ohne Augmentation und ästhetisch ansprechend überbrückt werden.



nisch hergestellten NEM- oder Titangerüsten umgeht man die Risiken konventioneller Herstellung wie zum Beispiel Lunkerbildung, Gussverzüge oder Fehlgüsse sowie die mittlerweile hohen Materialkosten für Edelmetalllegierungen und erzielt eine standardisierte Passgenauigkeit^{9–11}.

Auch wenn für hochfeste Zirkonoxidbrücken erst wenige klinische Studien vorliegen, wird darin von guten bis sehr guten Langzeitergebnissen bezüglich des Gerüstmaterials berichtet. Aufgetretene Defekte lagen mehrheitlich in der Verblendstruktur (Chipping)¹². Ebenso ermöglichen das CAD-Design und die Frästechnologie eine hohe Materialqualität und präzise Passung beim Einzelzahnersatz wie für weitspannige Rekonstruktionen¹³. Rinke et al. führen in-vitro-Untersuchungen mit CNC-gefrästen Implantat-suprakonstruktionen an, wonach die erreichbare Präzision bei mittleren Spaltbreiten von 20 bis 30 µm liegen. Eine Passgenauigkeit, die mit gegossenen Edelmetallgerüsten nicht zu erreichen sei. Ebenso zeigen erste klinische Studien zu CAD-konstruierten und CAM-gefertigten Stegkonstruktionen vielversprechende Resultate¹⁴, die sich langfristig im klinischen Praxisalltag erst noch bewähren müssen. Ein weiterer spezifischer Vorteil der digitalen Prozesskette liegt in der Gestaltung und Herstellung individueller Implantataufbauten, wodurch prothetische Problemstellungen wie divergierende Implantatangulationen oder eine mangelnde Abstützung der periimplantären Weichgewebe gelöst werden können. Hinsichtlich der Materialhomogenität und Biokompatibilität weist die CAD/CAM-Technologie Vorteile gegenüber den konventionellen Verfahren auf, da auf die Kombination verschiedener Metalllegierungen verzichtet werden kann¹⁵.

Die Erfolgsparameter sind jedoch davon abhängig, inwieweit die einzelnen CAD/CAM-Systemkomponenten aufeinander abgestimmt sind (s. auch Teil 1, Implantologie 3/11). Wissenschaftliche Daten zur Präzisionsgenauigkeit von CAD/CAM-Konstruktionen oder möglichen klinischen Komplikationen sind nur in einem limitierten Umfang dokumentiert¹⁶. So liegen positive klinische Langzeitdaten für die konventionelle Gusstechnik vor, für die CAD/CAM-Technik hingegen fehlen noch entsprechend

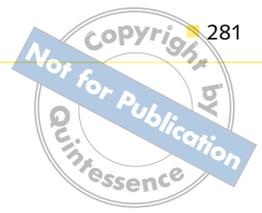
aussagekräftige Dokumentationen. Eine systematische Literaturrecherche von Harder und Kern zum Thema Überlebens- und Komplikationsraten zeigt denn auch, dass es anhand der derzeitigen geringen Datenlage unzulässig wäre, CAD/CAM-Verfahren den konventionellen zahntechnischen Methoden vorzuziehen¹⁷.

Analoge oder digitale Fertigungsverfahren sollten nicht als Konkurrenten angesehen werden. Vielmehr ergänzen sie sich und eröffnen dem wissenden Behandlungsteam weitere Optionen für eine streng patientenorientierte Therapie bzw. Versorgung.

■ Schlussbetrachtung

Langzeitstabile Strukturen des umgebenden Hart- und Weichgewebes sowie die ebenfalls langzeitstabile funktionelle und ästhetische Integration der Suprakonstruktion stellen das Behandlungsteam immer wieder vor eine große Herausforderung – unabhängig davon, ob festsitzend oder herausnehmbar versorgt werden soll. Um dieses Ziel zu erreichen, kann die hohe reproduzierbare Qualität CAD/CAM-generierter Strukturen als der größte Vorzug dieser Fertigungsmethode gelten, da oftmals fehlerbehaftete Arbeitsschritte herkömmlicher Fertigungsverfahren – Wachsmodellation, Gießen, Ausbetten oder Ausarbeiten des Gerüsts – entfallen.

CAD/CAM-basierte Fertigungstechnologien zur Herstellung von implantatgetragenen – festsitzend verschraubt oder zementiert sowie festsitzend mit Teleskopkronen oder Stegen – Zahnersatz bzw. einzelner Komponenten ermöglichen es auch, Patientenwünschen nach rascher Wiederherstellung der Kaufunktion mit einer ansprechenden ästhetischen Integration der Restauration nachzukommen. Voraussetzung dafür allerdings ist, dass alle am Restaurationsprozess Beteiligten den anerkannten werkstoffkundlichen sowie klinischen Präzisions- und Qualitätsanforderungen des digitalen Workflows nachkommen. Unter dieser strengen Prämisse jedoch kann andererseits davon ausgegangen werden, dass – wiederum für alle Beteiligten – Ertrag und Aufwand in einem positiven und das heißt explizit auch wettbewerbsfähigem Verhältnis stehen.



■ Literatur

1. Weng D, Richter EJ. Maxillary removable prostheses retained by telescopic crowns on two implants or two canines. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2007;27:35–41.
2. Weigl P, Trimpou G. Innovatives Behandlungsprotokoll zur Herstellung von Galvanoprothesen, Stand: Mai 2006, www.arge-dental.de.
3. Weigl P, Lauer HC. Advanced biomaterials used for a new telescopic retainer for removable dentures. *J Biomed Mater Res* 2000;53:337–47.
4. Jemt T, Back T, Petersson A. Precision of CNC-milled titanium frameworks for implant treatment in the edentulous jaw. *Int J Prosthodont* 1999;12:209–215.
5. Takahashi T, Gunne J. Fit of implant frameworks: an in vitro comparison between two fabrication techniques. *J Prosthet Dent* 2003;89:256–260.
6. Drago C, Howell K. Concepts for Designing and Fabricating Metal Implant Frameworks for Hybrid Implant Prostheses. *J Prosthodont* 2012;21:413–424.
7. Karl M, Taylor TD. Effect of material selection on the passivity of fit of implant-supported restorations created with computer-aided design/computer-assisted manufacture. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011;26:739–745.
8. Beuer F, Schweiger J, Stimmelmayer M, Edelhoff D. CAD/CAM-bearbeitete Hochleistungspolymere als Langzeitprovisoren in der Implantologie. *Implantologie* 2010;18:397–404.
9. Ortorp A, Jemt T, Back T, Jalevik T. Comparisons of precision of fit between cast and CNC-milled titanium implant frameworks for the edentulous mandible. *Int J Prosthodont* 2003;16:194–200.
10. Jemt T, Lekholm U. Implant treatment in edentulous maxillae: a 5-year follow-up report on patients with different degrees of jaw resorption. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1995;10:303–311.
11. Al-Fadda SA, Zarb GA, Finer Y. A comparison of the accuracy of fit of 2 methods for fabricating implant-prosthetic frameworks. *Int J Prosthodont* 2007;20:125–131.
12. Tinschert J, Schulze KA, Natt G, Latzke P, Heussen N, Spiekermann H. Clinical behavior of zirconia-based fixed partial dentures made of DC-Zirkon: 3-year results. *Int J Prosthodont* 2008;21:217–222.
13. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008;204:505–511.
14. Rinke S, Fischer C. CAD/CAM-gefertigte Stegkonstruktionen – Literaturübersicht und ein klinisches Fallbeispiel. *Implantologie* 2012;20:65–74.
15. Holst S, Geiselhöringer H, Nkenke E, Wichmann M. CAD/CAM und Implantologie – eine erfolgreiche Kooperation. *Jahrbuch Digitale Dentale Technologien* 2011,96–99.
16. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D, Sorensen JA. Reconstruction of esthetics with a digital approach. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2011;31:185–193.
17. Harder S, Kern M. Survival and complications of computer-aided designing and computer-aided manufacturing vs. conventionally fabricated implant-supported reconstructions: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2009;20(Suppl 4):48–54.

CAD/CAM in implant prosthodontics—Part 2: An overview of system-inherent possibilities for removable solutions

KEYWORDS *Implant prosthodontics, CAD/CAM, digital process chain, bar restorations, telescopic restorations, zirconium dioxide, titanium*

Long-term peri-implant hard and soft tissue stability frequently constitutes a challenge in the ultimate pursuit for a functional and esthetic restoration. This applies to fixed and removable implant prosthodontics in equal measure. Computer-aided design/computer-assisted manufacture (CAD/CAM)–generated superstructures have been introduced to overcome this objective. The high-quality reproduction is deemed to be one of the major advantages of this manufacturing technique, since potential production errors such as wax molding, embedding, casting, and polishing can be avoided. CAD/CAM technology allows the precise production of fixed or removable primary and secondary implant-retained superstructures (bar and telescopic restorations), which meet patient expectations of masticatory function and esthetic appearance. The preconditions for successful action and digital workflow effectiveness are good cooperation among the entire restorative team and a conscious application of material science. Under these terms, a positive and competitive cost-income ratio can be accomplished for all parties concerned