



Die Bestandteile der voll digital erstellten Modellgussprothese.

Modern und ästhetisch: Die voll digitale Modellgussprothese aus dem 3D-Drucker

In dem hier folgenden Bericht zeigt ZT Felix Bußmeier am Beispiel eines fiktiven zahntechnischen Falles mit der Kombination verschiedener Module und unter Verwendung neuartiger 3D-Druckmaterialien eine exemplarische Vorgehensweise zur Herstellung einer voll digitalen Klammermodellgussprothese. Erkenntnisse dieses Projekts sollen Aufschluss über etwaige Problemstellungen geben, die später während des Konstruktionsprozesses von realen Fällen auftreten könnten. Zudem erhalten Benutzer zukünftiger Softwaremodule Einblicke in noch zu entwickelnde Funktionalitäten, was auch für Programmierer interessant ist.

Die CAD/CAM-Technologie, insbesondere die additiven Fertigungsverfahren und 3D-Druckmaterialien, werden ständig weiterentwickelt. Leistungsfähigere Softwaremodule, die mittlerweile eine Vielzahl von Patienteninformationen verarbeitet können, ermöglichen es dem Zahntechniker, auch komplexe zahntechnische Arbeiten in wenigen Arbeitsschritten zu konstruieren. Die vollständige digitale Modellation partieller Prothesen stellt aufgrund getrennter konstruktiver Bestandteile auch eine solche komplexe Arbeit dar.

Ausgangssituation

Beim hier vorgestellten zahntechnischen Fall handelt es sich um ein Unterkiefermodell mit einer bilateral verkürzten Zahnreihe in den Regionen 37 und 46–47 sowie einer Schallücke im Frontzahnbereich 31–42. An den Zähnen 35, 36 sowie 44, 45 wurden zusätzlich Auflagen präpariert, um vertikale Kaukräfte weitgehend in Ausrichtung des Klammerzahnes auf dessen Parodontium abzustützen (**Abb. 1**).

Planung und Konstruktion des Modellgusses

Zu Beginn einer jeden computergestützten Konstruktion muss die Situation mithilfe eines 3D-Modell- oder Intraoralscanners erfasst werden, damit sie digitalisiert vorliegt. Die Vorgehensweise der Kieferrelationsbestimmung hängt im Wesentlichen von der Restbezaehlung des Patienten ab und wurde ebenfalls übertragen. Bevor mit der eigentlichen Konstruktion des Modellgusses begonnen werden kann, sollte eine ausgiebige Planung vorgenommen werden.

Zur Besserung und Einschätzung der möglichen Statik und Dynamik der Prothese sollte man die Restgebissituation klassifizieren. Die Klassifikation nach Kennedy bietet sich an und gibt Aufschluss über den Kräfteausgleich, Halt und eine stabile Lagesicherung der Modellgussprothese. In Zukunft könnte eine solche Vorplanung Teil des digitalen Workflows sein und den Zahntechniker mit sinnvollen Vorschlägen für Auflagenpositionierung, Ausdehnung und Prothesensättel unterstützen. Für die Modellation wurde hier das Softwaremodul Removable (Modellguss) der Firma 3Shape verwendet.



Abb. 1: Gedrucktes Modell als Ausgangssituation.

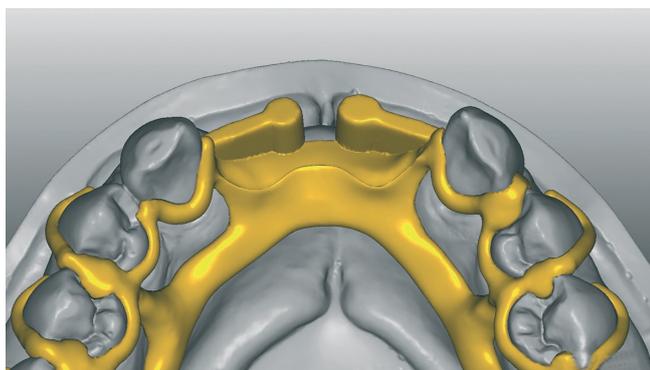
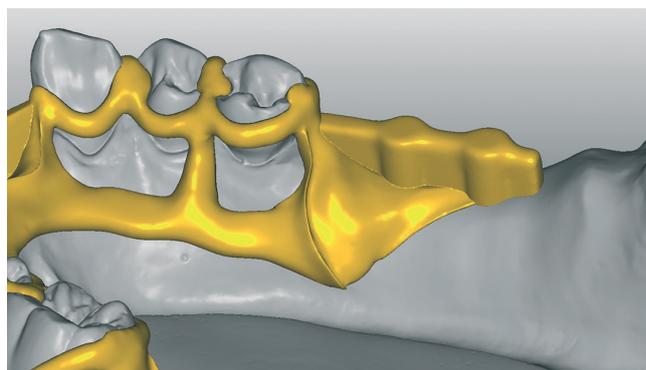


Abb. 2 u. 3: Stegartige Retentionsgestaltung mit Verbindung zum Sublingualbügel.



Nach der Planung erfolgt zunächst die virtuelle Aufstellung der Prothesenzähne. Die Ausdehnung der Retentionen, Verbinder und Abschlussleisten orientiert sich u. a. an der Position der Aufstellung.

Besonderes Augenmerk wurde auf die Gestaltung der Retentionen gelegt. Loch- oder Gitterretentionen, wie sie bei der konventionellen Technik zur Befestigung der Sättel verwendet werden, sind bei dieser Vorgehensweise eher nicht zu empfehlen. Die Prothesensättel könnten zwar basal mit Noppen versehen werden und nach dem „Steckprinzip“ in die Retentionslöcher des Gerüsts greifen, zur Befestigung und eindeutigen Lagesicherung würden sie aber nach dem Verkleben mit dem Modellguss teilweise hohl liegen und keine geschlossene Auflagefläche bieten. Wenn anschließend eine Unterfütterung der Sättel notwendig ist, würde die eigentliche Idee der simplen und effizienten Komplementierung der Einzelbestandteile verfehlt werden. Es muss also sichergestellt werden, dass die Gingivaanteile nach dem Verkleben mit dem Gerüst eine einheitliche, ebene und stabile Einheit bilden.

Dieser Nachteil könnte mit einer stegartigen Konstruktion besser gelöst werden (Abb. 2–4). Die vertikale Höhe sowie die horizontale Dimensionierung orientierten sich dabei an den Platzverhältnissen zum Antagonisten und den zuvor virtuell aufgestellten Prothesenzähnen. Bei der finalen

Verklebung der Einzelbestandteile wurde eine möglichst geringe Nachbearbeitung der Übergänge angestrebt. Somit liegen die Basalfläche der Retentionen und die Unterseite der Verbinder zum Sublingualbügel auf der Gingiva auf. Da keine kaltpolymerisierenden Prothesekunststoffe verwendet werden, entsteht an den Übergängen kein Mikrospace durch Polymerisationsschrumpfung und die Aufnahme von Bakterien oder Reizungen der Schleimhaut wären weitgehend ausgeschlossen.

Die Unterfütterbarkeit der Prothesensättel durch Formveränderungen des Kieferknochens sollte von der vestibulären Umschlagsfalte bis zum Mundboden möglich sein. In diesem Fall muss bei einer Unterfütterung teilweise die Retention zurückgeschliffen werden und eine Uhrglasfassung vom Übergang zum großen Verbinder angelegt werden.

Daher wurde wie in **Abbildung 5** ein weiterer Ansatz gezeigt, bei dem zuerst der basal geschlossene Gingivaanteil auf dem Modell platziert und im Anschluss der Modellguss mit der Retention in eine dafür vorgesehene Öffnung eingeschoben wurde. Diese Herangehensweise ermöglicht die vollständige unkomplizierte Unterfütterung der Sättel, schwächt aber zugleich die Verbindung zum Sublingualbügel. Mithilfe der Software war diese Umsetzung leider nicht möglich und wurde daher zu Demonstrationszwecken manuell geschaffen. Eine konventionelle Gerüstgestaltung ist für die digitale



Abb. 4: Okklusalanzeige der Konstruktion nach Ausrichtung und „Verschmelzung“ der Retentionen mit dem übrigen Gerüst.



Abb. 5: Der Modellguss wird im Steckprinzip von okkusal in den Prothesensattel eingeschoben.

Fertigung einer Klammermodellgussprothese, die hier das Ziel ist, eher nicht geeignet, da es bei der Komplementierung der Einzelbestandteile zu Hindernissen kommt. Es wird ein unkomplizierter und vor allem effizienter Arbeitsablauf mit möglichst geringer Nachbearbeitungsphase angestrebt, um potenzielle Fehlerquellen von vornherein auszuschließen.

Vorteile der stegartigen Geometrie liegen u. a. in der stabilen Verankerung der Prothesensättel, aufgrund der vergrößerten Oberfläche und der Verwindungssteifigkeit bei auftretenden Torsionskräften durch exzentrische Belastungen der Sättel. Solche geometrischen Körper sollten in der Softwaredatenbank hinterlegt und individualisierbar sein.

Nachdem die Modellation des Klammermodellgusses fertiggestellt ist, kann mit dem Design der Gingivaanteile und der Prothesenzähne begonnen werden (**Abb. 6**).

Modellation der Prothesensättel

Die Modifier-Software (Zirkonzahn) ermöglicht bei der Konstruktion eines Modellgusses auch die Modellation von separaten Gingivaanteilen, jedoch war die genaue Adaption an die Retentionen

und die Berechnung der Alveolen und Stümpfe für die Prothesenzähne mit der von mir verwendeten „Developer Version“ noch nicht möglich. Mit einem Totalprothetik-Modul lassen sich keine separaten Prothesensättel erzeugen.

Um diese Funktion trotzdem zu nutzen, wurde daher im Archiv für die entsprechenden Regionen „Prettau-Brücke-reduziert“ ausgewählt. Hiermit lassen sich vollanatomische oder reduzierte Elemente mit vollständigen oder partiell getrennten Gingivaanteilen konstruieren. An dieser Stelle muss der Modellguss als Gingiva importiert werden. Nur so kann sich die Basis der Konstruktion an die Kontur der Retention anpassen.

Die stegartigen Retentionen haben keine gemeinsame Einschubrichtung und müssen daher bei der automatischen Ausblockfunktion manuell von Unterschnitten befreit werden. In diesem Schritt kann auch der Klebspalt definiert werden, welcher im Wesentlichen vom Fertigungsverfahren und Voraussetzungen des beim Zusammenfügen der Komponenten verwendeten Verfahrens abhängig ist.

Danach werden die zuvor aufgestellten Prothesenzähne basal an die Retentionen angepasst und die Modellation der Gingiva erfolgt im darauffolgenden Arbeitsschritt (**Abb. 7 u. 8**).

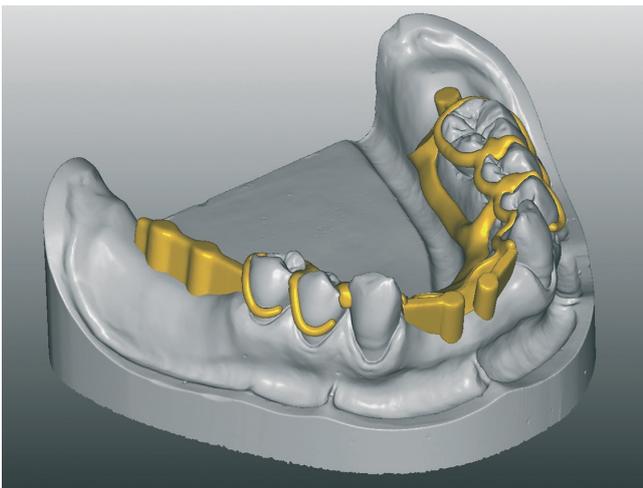


Abb. 6: Die zusammengefügte Modellgusskonstruktion wird als STL-Datensatz exportiert.

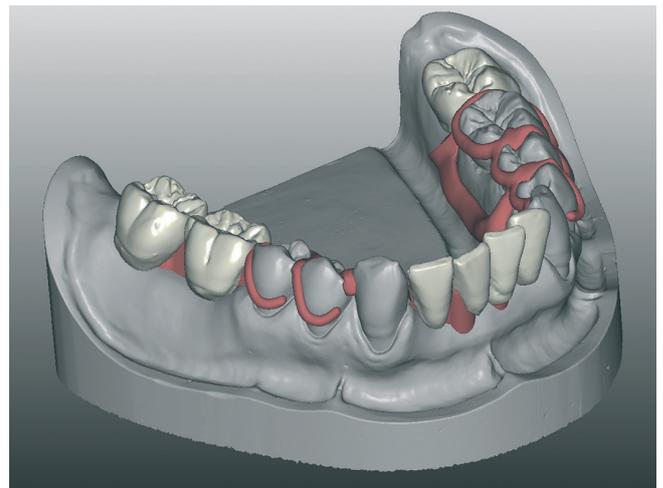


Abb. 7: Die Prothesenzähne werden basal an den Modellguss angepasst.

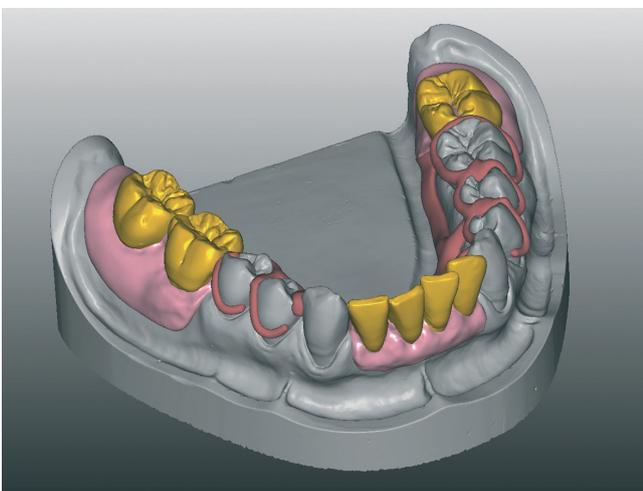


Abb. 8: Gestaltung der Gingiva und Adaption des Zahnfleischsaumes.

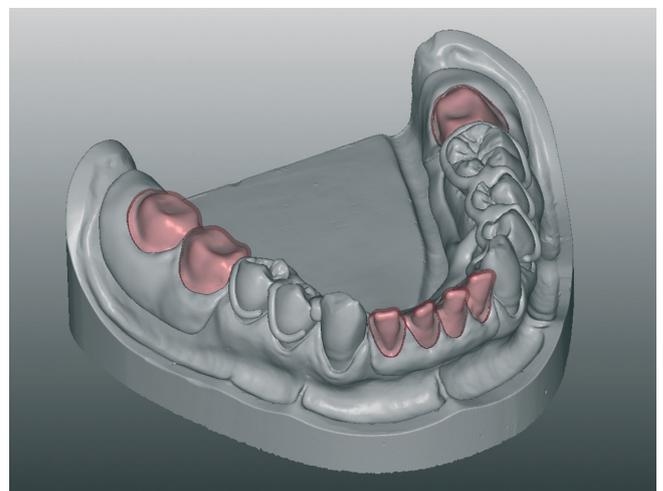


Abb. 9: Die anatomische Form der Zähne wird auf eine stumpfartige Form reduziert und mit einem Zementspalt versehen.

Die zuvor im Archiv ausgewählte Versorgungsart ist nicht dafür vorgesehen, aufgestellte Zähne an das Gingivadesign anzupassen und am Ende des Konstruktionsprozesses getrennte Datensätze zu erzeugen. Diese notwendige Adaptionfunktion findet sich in dem Totalprothetikmodul wieder und wird zukünftig die Anpassung solcher Prozesse übernehmen. Vor allem bei der Verwendung konfektionierter Prothesenzähne, die durch die ausgestanzten Kavitäten ihre eigentliche Verankerung und einen Rotationsschutz erhalten, ist diese Funktion Voraussetzung. Bei der Wahl individueller Zähne kann je nach Platzverhältnissen auf die stumpfartige anatomische Form zur Befestigung zurückgegriffen werden (**Abb. 9**).

Im letzten Schritt werden dann die anatomischen Kronen an die Stümpfe angepasst. Ein zuvor erstelltes Wax-up dient zur Übertragung der äußeren Form (**Abb. 10–12**).

Schließlich sind alle Bestandteile der Klammermodellgussprothese konstruiert und die einzelnen Datensätze können nun im digitalen additiven oder subtraktiven Fertigungsverfahren hergestellt werden (**Abb. 13**). Zur Kontrolle der Okklusion im Munde des Patienten ist es auch möglich, die Prothesensättel für die Anprobe in einem kostengünstigen Try-in-Kunststoff zu drucken.

Die Umsetzung

In unserem Fall wurden alle Komponenten mithilfe des 3D-Drucks realisiert. Der Modellguss wurde von der Firma Mack Dentaltechnik im SLM-Verfahren (Selektives Laserschmelzen) gefertigt und in einem verschliffenen, geglänzten und polierten Zustand ausgeliefert. Unsere Kontrolle zeigte, dass das Gerüst eine gute Passung besaß und nicht mehr auf das Modell aufgepasst werden musste.

Die Gingivaanteile und die Prothesenzähne wurden von der Metaux Precieux GmbH im DLP-Verfahren (Digital Light Processing – Maskenbelichtung) hergestellt.

Bevor die Komponenten zusammengefügt werden, müssen die Kunststoffanteile noch maschinell poliert und die Retentionen für die Verklebung vorbereitet werden. Die eigentliche Verklebung findet auf dem Modell in einer festgelegten Reihenfolge statt. Nach dem Aushärten werden noch die Übergänge kontrolliert und gegebenenfalls angepasst (**Abb. 14**).

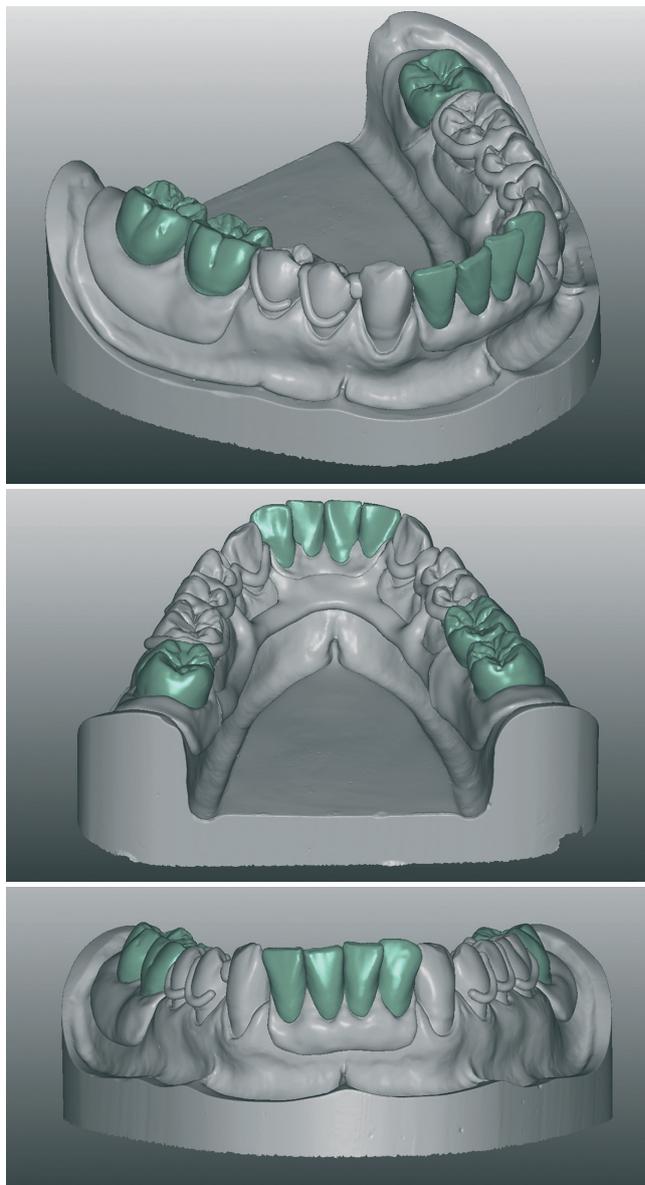


Abb. 10–12: Anpassen der Prothesenzähne auf die dafür vorgesehenen Stümpfe.

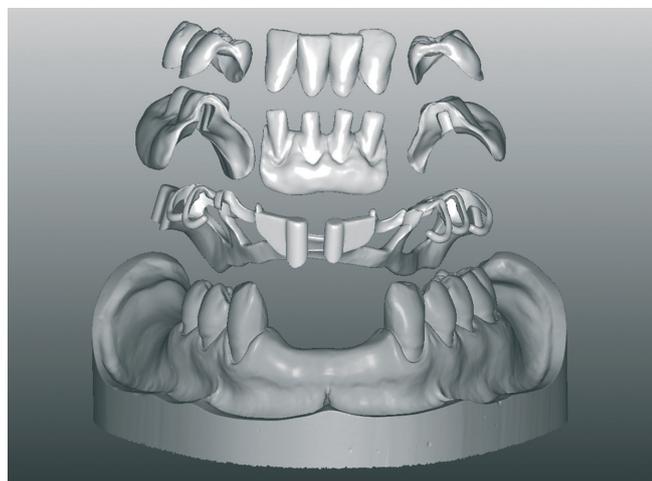


Abb. 13: Alle Einzelbestandteile werden als STL-Datensätze exportiert und können in die entsprechende Slicing-Software für die Fertigung überragen werden.



Abb. 14: Anpassen der Übergänge nach dem Verkleben.

Fazit und Ausblick

Bereits mit den derzeitig erhältlichen Modulen ist es möglich, durch die Kombination verschiedener Funktionalitäten eine Klammermodellgussprothese voll digital zu modellieren und im 3D-Druckverfahren mit geringer Nachbearbeitungsphase herzustellen (**Abb. 15**). Viele der bereits vorhandenen Funktionen gilt es nun sinnvoll miteinander zu verknüpfen, Algorithmen anzupassen und einen harmonischen Workflow zu erstellen, der dem Zahn-techniker ermöglicht, auch komplexe herausnehmbare teilprothetische Versorgungen computergestützt anzufertigen. Im gleichen Zuge müssen sich auch die Werkstoffe weiterentwickeln, um den Anforderungen der hierfür notwendigen Eigenschaften gerecht zu werden. Denn für uns

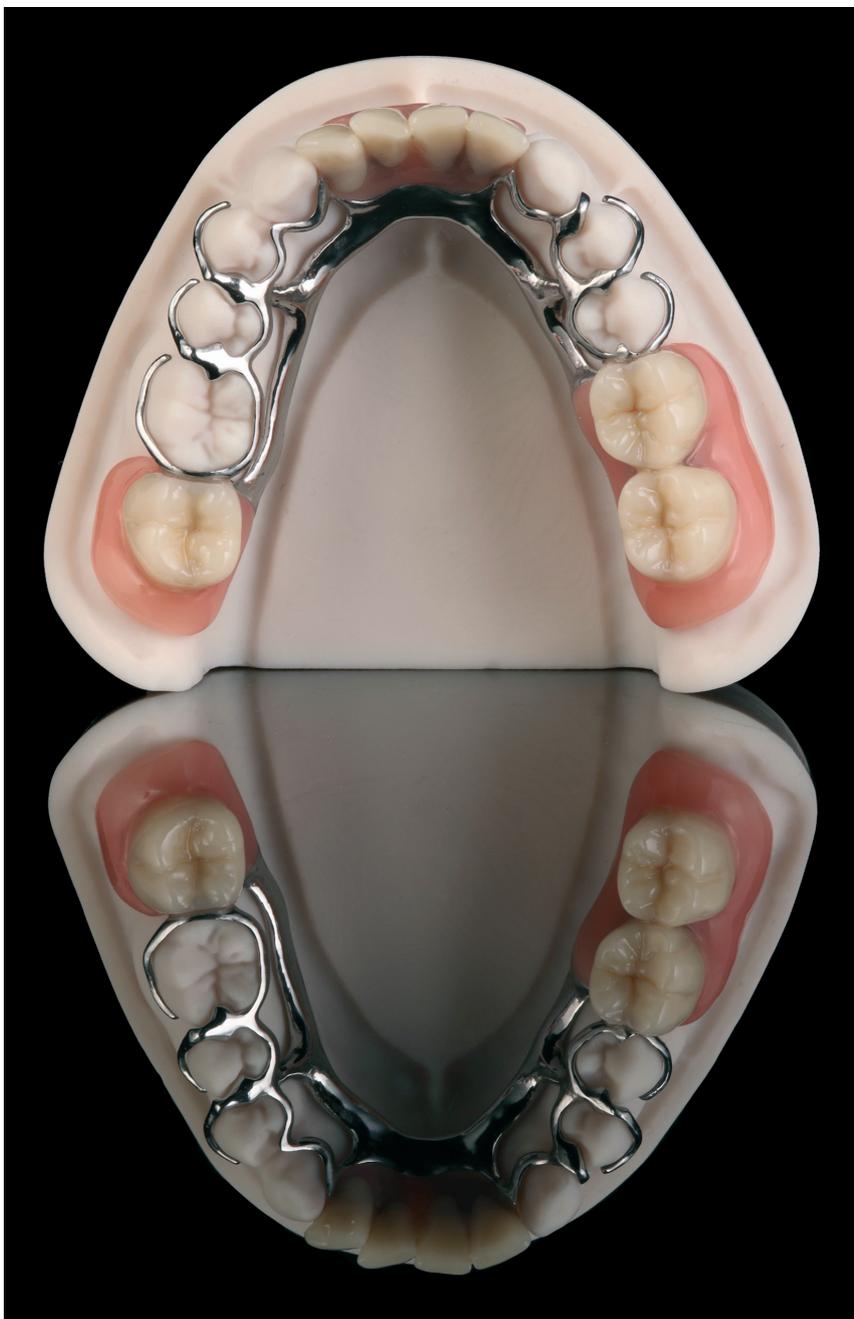


Abb. 15: Fertige Klammermodellgussprothese: funktionell und schön.

Zahn-techniker stehen Funktion, Langlebigkeit der Versorgung und Ästhetik immer im Mittelpunkt. Hinzu kommt die Wirtschaftlichkeit der Herstellung – diese erwarten wir von der Ablösung konventioneller Prozesse durch digitale. Im Einzelnen sehe ich beim gewählten Verfahren der voll digitalen Herstellung einer Modellgussprothese mit Blick in die Zukunft folgende wirtschaftlichen Vorteile für unser Labor:

- einen insgesamt geringeren Zeitaufwand, und zwar bei der Herstellung des Modellgusses, der Modellation der Prothesensättel und der Fertigstellung
- geringere Fertigungskosten
- einen effizienten Fertigungsprozess (die Druckzeit ist unabhängig von der Menge)

Dabei müssen konventionelle Arbeitsschritte im Vorfeld analysiert und für den digitalen Prozess verändert werden. Der digitale Workflow setzt eine angepasste Herangehensweise bei der Modellation und der im Anschluss folgenden Fertigstellung voraus. Speziell im hier vorgestellten Fall musste die Gestaltung des Modellgusses geringfügig verändert werden, um die komplette digitale Prozesskette zu nutzen, das Potenzial der additiven Herstellungsverfahren auszu-schöpfen und den angestrebten Voraussetzungen gerecht zu werden.

Beim Ersatz konventioneller Herstellungsverfahren durch digitale Herstellungsprozesse ergeben sich weitere Vorteile:

- Unterstützung der Modellanalyse und Planung durch die Software
- Gestaltung individueller Prothesenzähne
- exakte Anpassung der Prothesenzähne an die Basis
- sichere Kontrolle der Materialabstände
- einfache Modellation und Positionierung von Retentionen, Verbindern und Abschlussleisten
- einfache Veränderung der Okklusion nach neuer Biss-situation
- jederzeitige Reproduktionsmöglichkeit (bei Sprüngen oder Brüchen können einzelne Segmente per Knopfdruck neu hergestellt werden)
- geringe Nachbearbeitung
- und: Digitale Herstellungsverfahren sind sehr präzise geworden.

Es ist faszinierend zu sehen, dass solche Restaurationen, welche sich nach dem klassischen Herstellungsverfahren durch eine Vielzahl von handwerklichen Arbeitsschritten auszeichnen, mit nur einigen Mausklicks zu realisieren sind. Im Zuge des technischen Fortschritts, bezogen auf digitale zahntechnische Prozesse, wird man immer häufiger mit den Möglichkeiten einer noch rationelleren

Herstellungsweise konfrontiert. Dabei erfüllen neue Materialien auch immer besser ästhetische Anforderungen, sodass dem Zahntechniker Individualisierungen erleichtert werden. Solche Entwicklungen in der digitalen Branche sollte jeder Zahntechniker genau beobachten und gewillt sein, sich Veränderungen rechtzeitig anzupassen, um daran auch zukünftig zu partizipieren. ■

**Literaturverzeichnis unter
www.ztm-aktuell.de/literaturlisten**



Zahntechnik Uwe Bußmeier

Marktplatz 1 · 46268 Greven
felixbusmeier@web.de
www.schoene-zaehne.de

Bilder, soweit nicht anders deklariert: © Bußmeier

ZT Felix Bußmeier



- Juni 2013 Allgemeine Hochschulreife (Gymnasium Augustinianum, Greven)
- September 2013 Beginn der Ausbildung zum Zahntechniker bei Zahntechnik Uwe Bußmeier, Greven
- April 2015 Military School, Zirkozahn, Gais, Südtirol/Italien
- Februar 2016 Europaassistent, Pils Zahntechnik GmbH, Österreich
- Februar 2017 Abschlussprüfung zum Zahntechniker am Hans-Böckler-Berufskolleg, Haltern am See
- März 2017 2. Platz beim Gysi-Preis 2017 (4. Ausbildungsjahr)
- März 2017 Weiterbeschäftigung bei Zahntechnik Uwe Bußmeier, Greven
- September 2018 Referententätigkeit im Institute for Guided Implantology – IGI Hamburg

VINTAGE PRO

Pure Inspiration



www.shofu.de