Mit neuen Technologien Altbewährtes effizient nutzen

ZTM Björn Maier

Abb. 01: Altbewährtes neu genutzt

Einleitung

Die Verarbeitung von Edelmetalllegierungen in der Zahntechnik blickt auf einen langen erfolgreichen Einsatz zurück. Basierend auf den Ausgangssituationen konnte aus einer Vielzahl von Legierungskomponenten nach physikalischen Kriterien die bestmögliche Materialkombination gewählt werden.

Mit dem Aufkommen digital gestützter Technologien erlebten wir in den letzten 20 Jahren eine rasante Entwicklung von zahntechnischen Verfahrensabläufen und neu aufkommenden Materialien. Die Materialauswahl reicht von pulverisierten Metallen bis hin zu hoch vernetzten Kompositen, welche in additiven und subtraktiven Fertigungsverfahren hergestellt werden können.

Dank dieser neuen reproduzierbaren Fertigungstechnologien gewinnen jedoch auch altbewährte Materialien wieder mehr an Bedeutung. Hierzu zählen unter anderem Edelmetalllegierungen, welche dank digital gestützter Prozesse in zuvor nicht gekannter Qualität und Planbarkeit umgesetzt werden können.

Zu den Vorteilen gehört eine effiziente virtuelle Modellation der Objekte. Aus der dreidimensionalen Betrachtung kann von der designten Mockup-Situation in die gewünschte virtuelle Gerüststruktur zurückgerechnet werden. Zur Realisierung wird der Datensatz an die Fertigungseinheit weitergesendet. Dank subtraktiver Herstellungsprozesse kann das Objekt aus einem industriell gewalzten homogenen Blank gefräst werden.

Inhomogene Gefügestrukturen oder auch ein höherer Legierungsverbrauch durch Gusskanäle sind nicht mehr relevant!

Indizes
Edelmetallfräsen, Digitalisierung, CAD/CAM, Reproduzierbar, Homogenität

Analog versus Digital
Betrachtet man den Fertigungsablauf der Unikate in einer punktuellen Gegenüberstellung, werden die Vorteile der digital gestützten Vorgehensweise schnell deutlich.

Die Herstellung der analog modellierten Objekte erfolgt über das Gießverfahren. Die Vorgehensweise bis zum gegossenen Objekt kann in folgende Schritte gegliedert werden:

1. Vorbereiten der Gipsstümpfe durch Auftragen des Distanzlackes
2. Isolieren der Stümpfe gegen Wachs
3. Auftragen des Unterziehwachses auf dem Gipsstumpf
4. Detaillierte Modellation des Objektes in Wachs
5. Anwachsen der Gusskanäle am Objekt, sowie Positionierung der Objekte in der Muffel
6. Anrühren der Einbettmasse im benötigten Mischungsverhältnis
7. Einbetten des Wachsobjektes
8. Abbindephase abwarten
9. Muffel im Vorwärmofen auf benötigte Temperatur heizen
10. Legierung abwiegen und zum Guss vorbereiten
11. Gießen der Objekte im Vakuumdruckgussgerät
12. Ausbetten und Abstrahlen der Objekte
13. Objekt auf dem Modell kontrollieren

Der analogen Herstellung wird hier die strukturierte digital gestützte Vorgehensweise gegenübergestellt.

1. Anlegen des Patientenfalles in der CAD-Software
2. Scannen der Modellsituation oder Importieren des Datensatzes aus dem Intraoralscanner
3. Virtuelle Konstruktion des Objektes
4. Fertige Konstruktion wird an das Fräszentrum übermittelt
5. Das per Kurier zugesendete Objekt wird auf dem Modell kontrolliert

Zur Fertigung der Konstruktionen kann auf eine Vielzahl von unterschiedlichen Legierungen zurückgegriffen werde, ohne teure Lagerkosten für die individuellen Edelmetalle in Kauf nehmen zu müssen. Dadurch steigere ich bei geringen Kostenstrukturen die Flexibilität im Labor.

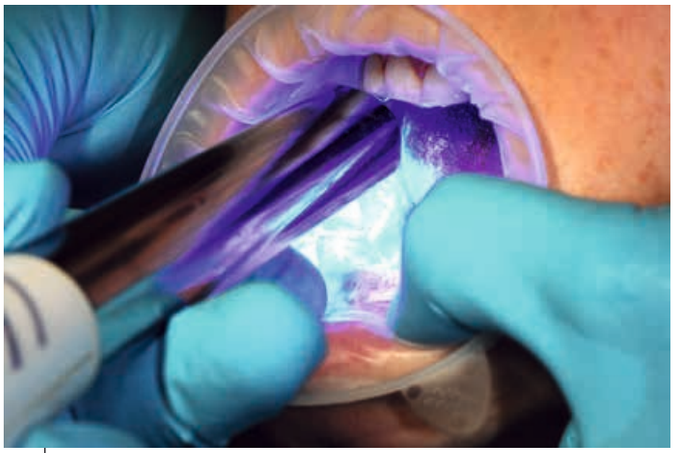

Abb. 02: Direkte Datenerfassung mit dem Intraoralscanner

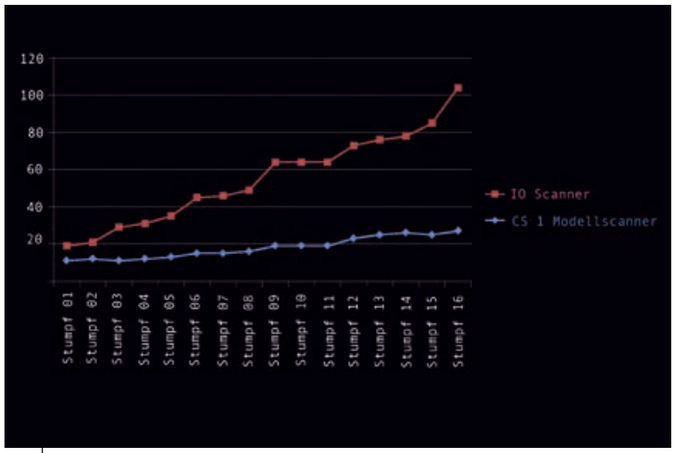

Abb. 03: Durchschnittliche Scanpräzision des CS1 im Verhältnis zu den gängigsten Intraoralscannern (Quelle: Fa. CADstar)

Abb. 04: Oberflächenstruktur eines additiv gefertigten Arbeitsmodells

Abb. 05: Der taktile Scanner

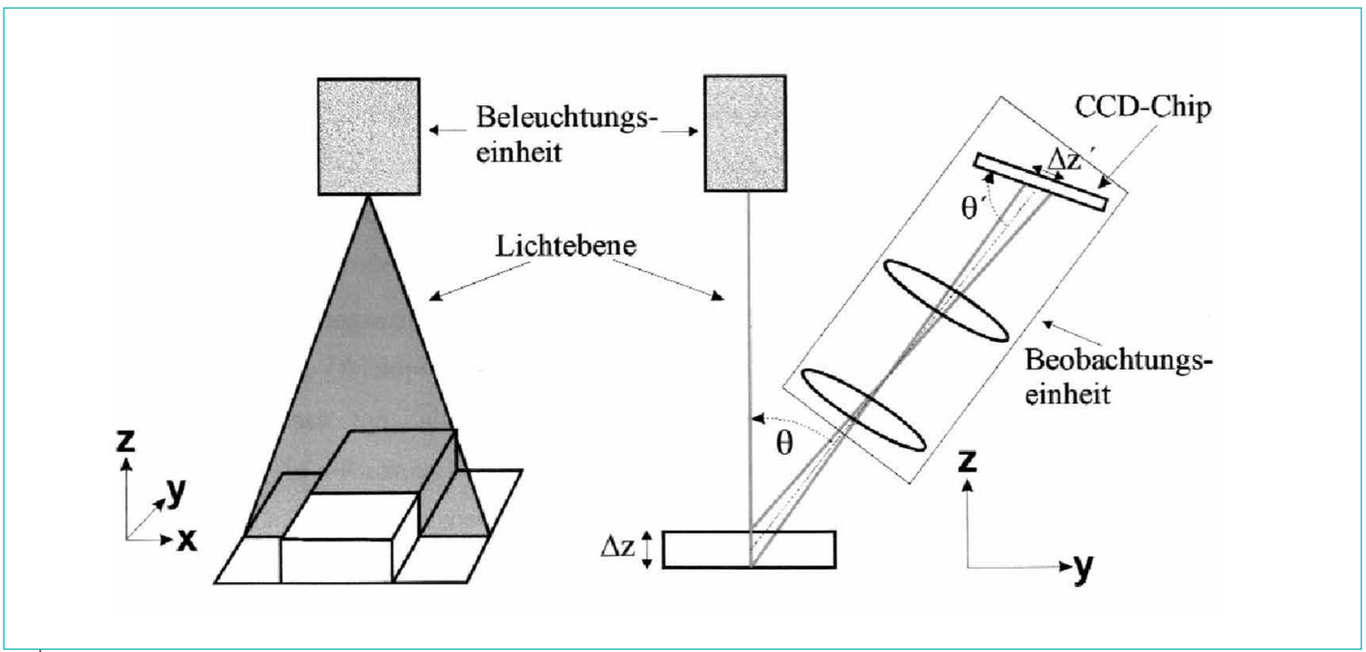

Abb. 06: Das Grundprinzip der laserlichtbasierten Triangulation

Digitalisierung der Objekte

Um die digitalen Vorteile nutzen zu können, muss in einem ersten Schritt die Patientensituation in einen digitalen Datensatz überführt werden. Dabei kann prinzipiell zwischen einer direkten (in der Zahnarztpraxis) und indirekten Digitalisierung (im zahntechnischen Labor) unterschieden werden.

Bei der direkten Digitalisierung am Patienten wird die Situation mit einem Intraoralscanner erfasst und dieser Datensatz je nach Hersteller direkt an das zahntechnische Labor übermittelt oder über eine vom Hersteller zwischengeschaltete Datenplattform transferiert (Abb. 02). Neben den unterschiedlichen Technologieansätzen der am Markt verfügbaren Intraoralscanner spielt die erfasste Spannweite sowie die Handhabung während der Datenerfassung eine entscheidende Rolle. Wie aus der Abbildung 03 hervorgeht, wird zusammenfassend bei der Generierung eines Einzelstumpfes eine höhere Präzision erreicht als bei der Erfassung einer fünfgliedrigen Brücke.

Dies hängt mit der momentanen optischen Datenerfassung zusammen. Hierfür werden die einzelnen Aufnahmen durch einen überlagernden Anteil zusammengefügt. Je mehr Bildanteile zusammengefügt werden müssen, desto größer kann der Verzug des Datensatzes sein.

Zur Weiterverarbeitung der Gerüstkonstruktionen wird aus dem generierten Datensatz im weiteren Prozess ein Arbeitsmodell hergestellt. Das Arbeitsmodell kann über subtraktive- oder additive Fertigungsansätze hergestellt werden. Aus wirtschaftlichen Gründen werden momentan die meisten Modelle über den additiven Ansatz hergestellt. Die gängige Z-Stufung (Schichtstärke) bei der Modellfertigung liegt im Moment bei 25 Mikrometern (Abb. 04).

Aus den eben geschilderten Gründen sehe ich die Digitalisierung mit Hilfe eines Laborscanners zur Fertigung von größeren Konstruktionen im Moment als die präzisere Vorgehensweise an. Bei der indirekten Datenerfassung über den Laborscanner sollte zwischen mechanischer- (taktile Systeme) und optischer Datenerfassung (berührungsfrei) unterschieden werden. Bei der optischen Datenerfassung können die Scannersysteme in weitere unterschiedliche Technologieansätze aufgeteilt werden. Zusammengefasst können hier laserlichtbasierende, streifenlichtbasierende- sowie die konoskopische Holographie unterschieden werden (Abb. 05-08).

Die taktile Datenerfassung

Bei der mechanischen (taktilen) Datenerfassung handelt es sich um eine direkte Datenerfassung mit Hilfe physikalischen Abtastens. Dabei wird die Werkstückoberfläche durch einen CNC gesteuerten Messtaster mit definiertem Berührungsdruck erfasst. Je nach Messaufgabe können unterschiedliche geometrische Formen und Materialien für den Taster eingesetzt werden. Auf Grund der komplexen Geometrien im zahntechnischen Bereich kommen hauptsächlich kugelförmige Industrierubine zum Einsatz.

Ausgehend vom Gerätenullpunkt bewegen sich das Messkopfsystem und das Messobjekt in seiner räumlichen Lage relativ zueinander. Durch das hinterlegte Koordinatensystem ist jeder Verfahrensachse ein Längen- und Winkelmesssystem zugeordnet. Einzelne Sensormesspunkte können aufgrund der bekannten Positionen der Positioniereinheit somit in ein gemeinsames Koordinatensystem transformiert und miteinander verknüpft werden.

Bei der Formmesstechnik (Scanning) wird die Tastkugel mit Hilfe besonderer Steuerfunktionen berührend entlang der Oberfläche des Werkstücks bewegt. Während der Bewegung werden laufend Messwerte übernommen, welche in einen digitalen dreidimensionalen Datensatz umgewandelt und auf einem ccd-Chip aufgezeichnet werden.

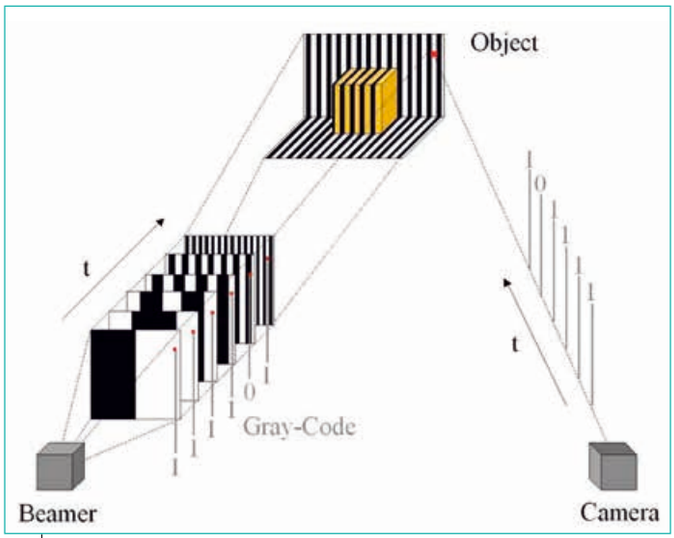

Abb. 07: Das Grundprinzip der streifenlichtbasierenden Triangulation

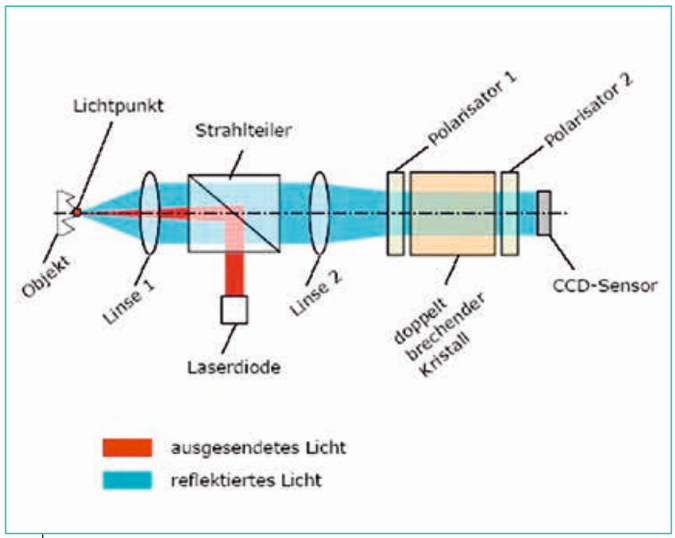

Abb. 08: Das Grundprinzip der konoskopischen Holographie

Abb. 09: Das Anlegen des Patientenfalles in der CAD-Software

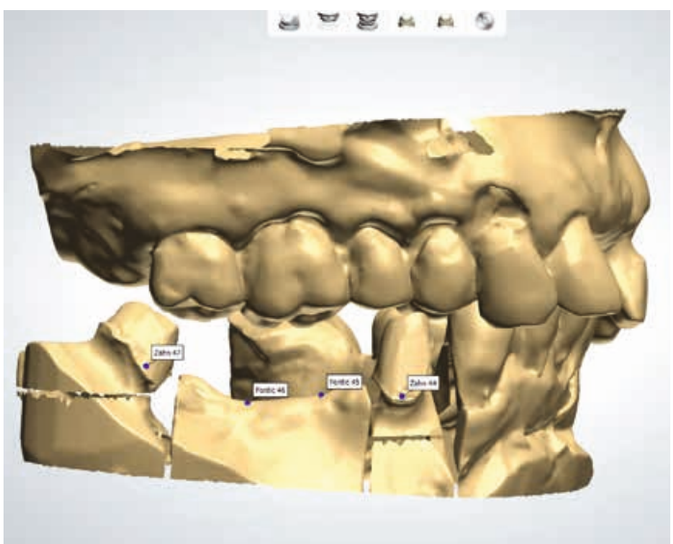

Abb. 10: Die digitalisierte Ausgangssituation

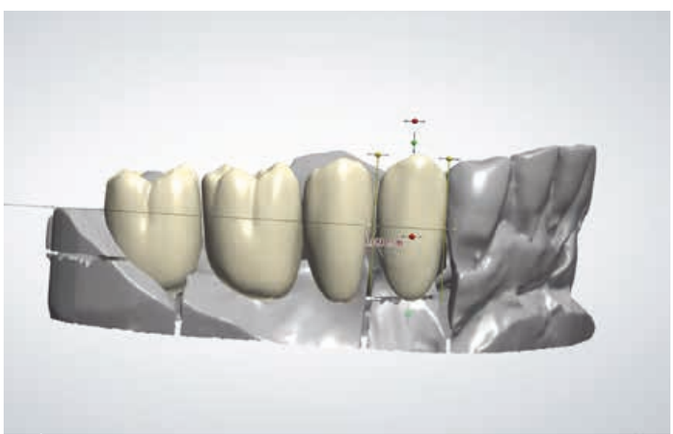

Abb. 11: Die Kronenpositionierung wird optimiert

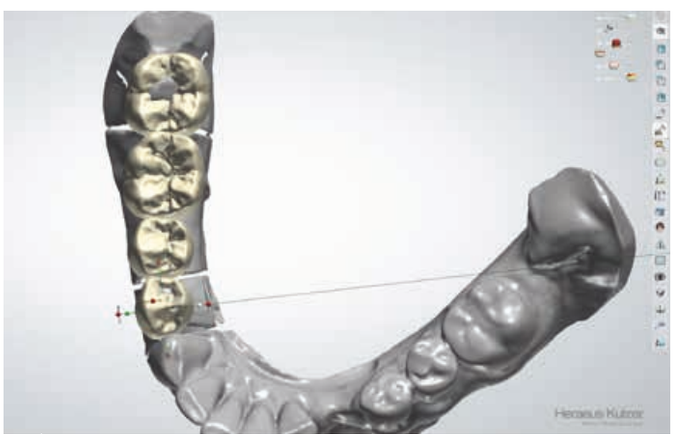

Abb. 12: Mit Hilfe der unterschiedlichen CAD-Werkzeuge wird die optimale Position der Kronen herausgearbeitet

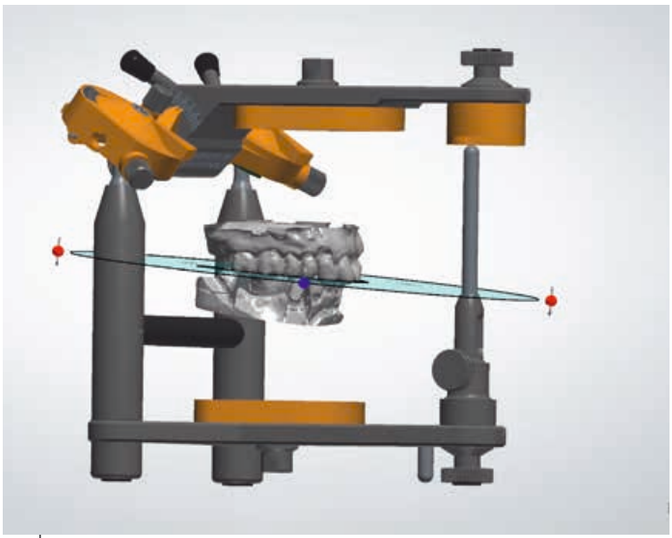

Abb. 13: Das Oberkiefermodell wird an der virtuellen mittelwertigen Okklusionsebene ausgerichtet

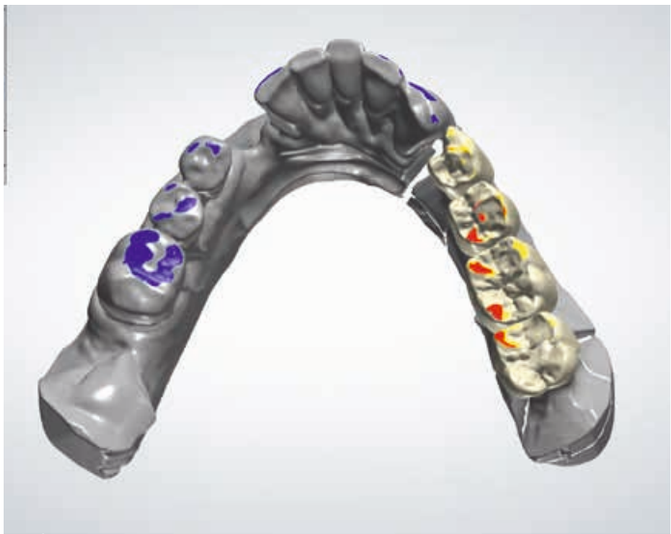

Abb. 14: Die Frühkontakte werden in der Software errechnet und angezeigt

Neben dem taktilen Scanprozess besteht auch die Möglichkeit einer punktweisen Erfassung der Werkstückoberflächen. Somit kann z.B. die präzise Position von Implantaten zugeordnet werden. Diese genauen Daten können mit einem Optischen Scan, welcher die zeitsparenden Oberflächendaten liefert, überlagert werden.

Dies führt uns dann auch zur nächsten Möglichkeit der Datenerfassung.

Die laserlichtbasierte Triangulation

Bei der laserlichtbasierenden Triangulation handelt es sich um eine berührungsfreie Digitalisierung des Ausgangsobjektes. Dabei projiziert ein Sensor einen Lichtstrahl auf das Messobjekt. Das dort reflektierte Licht wird von einer im festgelegten Winkel (Triangulationswinkel) zum Sensor stehenden Kamera beobachtet. Hinter der Kamera befindet sich ein ccd-Chip, auf welchen der reflektierende Lichtstrahl trifft. In Abhängigkeit von der Entfernung der reflektierenden Oberfläche trifft der Lichtstrahl unter einem bestimmten Winkel auf das Empfangselement.

Durch die Position des auf dem ccd-Chip auftreffenden „Lichtpunktes" und aus der Distanz vom Sender zum Empfangselement wird der Abstand zum Messobjekt im Sensor berechnet

Zur Erfassung der gesamten Modellsituation wird das Messobjekt dreidimensional bewegt. Durch das Bewegen des Messobjektes wird die gesamte Oberfläche durch reflektierende Lichtpunkte auf dem ccd-Chip erfasst. Eine Punktewolke entsteht, welche in einen Oberflächendatensatz umgewandelt werden kann.

Die streifenlichtbasierte Triangulation

Diese Technologie ähnelt von ihrem Ansatz der laserlichtbasierten Datenerfassung. Die Lichtquelle und die Kamera stellen ebenfalls einen Dreieckswinkel (Triangulationswinkel) dar. Allerdings gibt der Sensor keinen Lichtstrahl auf die Modelloberfläche aus, sondern sich überlagernde Streifenlichtmuster (Moiré-Effekt). Durch die sich überlagernden Liniengitter kommt es zu Hell-Dunkel-Kanten. Dank diesem codierten Lichtansatz werden hohe optische Messgenauigkeiten und Tiefenauflösungen erreicht, welche selbstverständlich auch einen hohen Präzisionsanspruch an die Hardware eines solchen Scannersystems stellen.

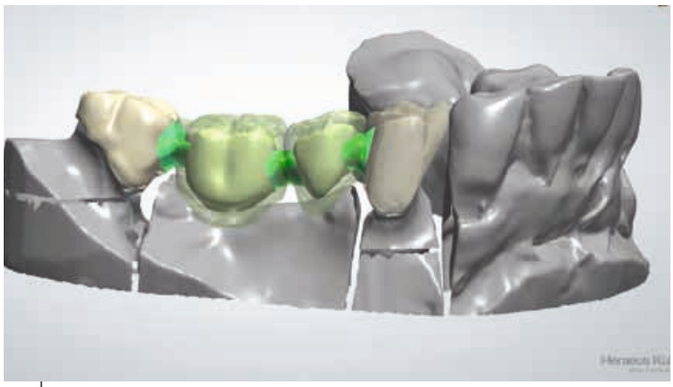

Abb. 15: Die gewünschte Verblendstärke wird von der Software zurückgerechnet

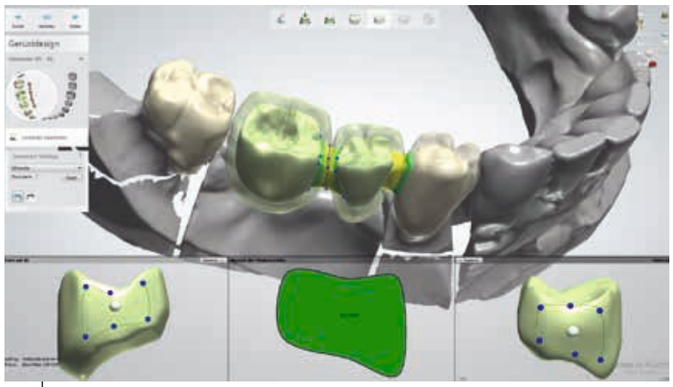

Abb. 16: Die Stärke des Brückenverbinders wird von der Software angezeigt

Abb. 17: Zur Gewichtsreduzierung können die Brückenglieder von basal reduziert werden

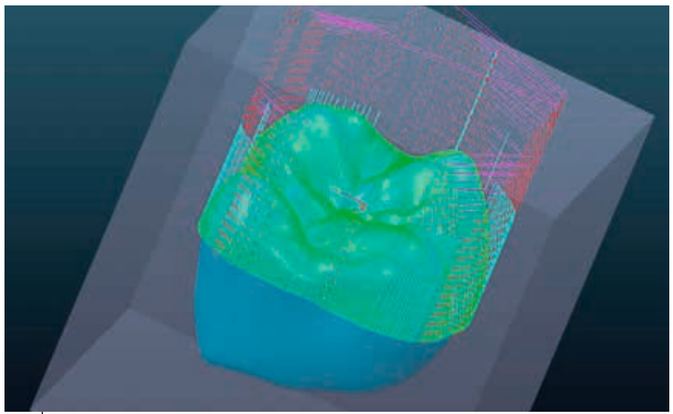

Abb. 18: Berechnung des Fräsprozesses in der CAM-Software

Abb. 19: Die herausgefräste Brückenkonstruktion

Abb. 20: Die analoge Ausgangssituation

Abb. 21: Die Brücke wird auf Passung und spannungsfreien Sitz kontrolliert

Abb. 22: Das opaquerte Brückengerüst

Das Prinzip der konoskopischen Holographie
Bei dieser Technologie wird kein Triangulationswinkel benötigt, was das Erfassen von unter sich gehenden oder dünnen und tiefen Bereichen möglich macht, wie z. B. palatinale oder linguale Retentionsrillen von Marylandbrücken, oder das Interlock an einer Geschiebearbeit.

Mit Hilfe eines Laserstrahls wird auf dem Messobjekt ein Lichtpunkt erzeugt, dessen Licht diffus - also in alle Richtungen - zurückstrahlt. Ein Teil des von diesem Lichtpunkt zurückgestrahlten Lichts wird vom Objektiv des Sensors erfasst und fällt auf einen doppelt brechenden Kristall. Dort werden die eintreffenden Lichtstrahlen zunächst in Teilstrahlen gespalten und nach Austritt aus dem Kristall auf einem CCD-Sensor wieder überlagert. Dort entsteht ein Interferenzmuster, das mit Hilfe des CCD-Chips erfasst und elektronisch ausgewertet wird. Im Interferenzmuster sind Informationen über den Winkel des eintreffenden Lichtstrahls gespeichert. Im konoskopischen System werden diese Winkel analysiert und in einen 3D-Datensatz wie z. B. das STL-Format (Beschreibung der Objektoberfläche durch Dreiecke) umgewandelt.

Herstellung der edelmetallbasierenden keramisch verblendeten Brücke

Der Scanprozess
Im vorliegenden Patientenfall wurde die Patientensituation analog abgeformt und das daraus generierte Arbeitsmodell mit einem Laserlichtscanner (D700 Fa. 3shape) digitalisiert. Vor der Digitalisierung der Modellsituation wird der Patientenfall in der Software angelegt (Abb. 09). Dazu werden der Zahnstatus sowie der in der Materialdatenbank hinterlegte Werkstoff ausgewählt. Dadurch sind die individuell abgestimmten Einstellungen zu diesem System und dem Fertigungszentrum der Firma Hafner Edelmetalle sichergestellt und eine reproduzierbare Präzision garantiert.

Im vorliegenden Fall sollte eine Brückenkonstruktion erstellt werden, bei der die Zähne 44-46 zirkulär verblendet und der Zahn 47 als Vollgusskrone umgesetzt wird.

Während des Scanprozesses wurden das Arbeitsmodell, das Gegenbissmodell sowie die präparierten Stümpfe in einzelnen Schritten digitalisiert und in der Software entsprechend zugeordnet (Abb. 10). Teilweise kann ein zusätzlicher Vorpräparationsscan hilfreich sein, um Informationen über die Position der früheren Zahnkronen zu erhalten. In diesem Fall war dies nicht von Relevanz, da der Patient vor der Behandlung über einen längeren Zeitraum eine herausnehmbare Versorgung hatte.

Die virtuelle Modellation
In der CAD-Software bekommt der Konstrukteur den ersten Konstruktionsvorschlag von der Software. Dieser konnte mit Hilfe der unterschiedlichen Softwaretools im Detail bearbeitet werden und die optimale Versorgungssituation gefunden werden. Dank der virtuellen Vorgehensweise können auf einfachem Wege unterschiedliche Zahnstellungen in 2- und 3-dimensionaler Betrachtung durchgespielt werden, um die optimale Positionierung und Morphologie der Restauration zu eruieren (Abb. 11 und 12). Verglichen mit der analogen Modellation eine enorme Zeitersparnis!

Die Funktion des virtuellen Mittelwertartikulators kann nach Ausrichtung der Okklusionsebene ein hilfreiches Werkzeug sein, um die Morphologie im weiteren Detail abzustimmen. Sicherlich ersetzt der virtuelle Artikulator im Moment noch keinen analogen Artikulator. Die detailliertere Ausformung und Positionierung der Zahnhöcker kann hiermit jedoch für die Gerüstunterstützung durchaus stabilisierende Informationen liefern. Dabei zeigt der virtuelle Artikulator die noch störenden Höckerspitzen farbig an und der Konstrukteur kann darüber entscheiden, ob er die Störstellen entsprechend der Softwareberechnung entfernen lässt oder lieber selbst mit Hilfe des virtuellen Wachsmesser nachbessert (Abb. 13 und 14).

Abb. 23: Die hohlgelegten Brückenglieder werden mit Schultermasse aufgefüllt

Abb. 24: Dank einer gleichmäßigen Reduzierung kann die Arbeit problemlos verblendet werden

Abb. 25: Die fertige Arbeit wird durch Abbeizen von Oxiden befreit und auf Hochglanz poliert

Abb. 26: Entsprechend der fortgeschrittenen Altersstruktur wurde die Oberfläche unter Einsatz von Glasurmasse geglättet

Abb. 27: Die fertige Arbeit bereit zum Eingliedern

Nach optimaler Ausformung der morphologischen Brückenrekonstruktion konnten die zu verblendenden Bereiche mit einem Mausklick um die gewünschte Verblendstärke von 1mm reduziert werden. Das dadurch gleichmäßig reduzierte, höckerunterstützende Gerüst bildet die Voraussetzung für ein reproduzierbares gleichmäßiges Sinterverhalten der Verblendkeramik (Abb. 15).

Durch die optische Reduktion der Verblendstärke konnte nun auch die optimale Positionierung der Brückenverbinder gestaltet werden. Auch hier können die Position sowie das Volumen der Verbinder in der 2- und 3-dimensionalen Betrachtung begutachtet und optimiert werden. Dank der numerischen Angabe des Querschnittsprofils liegt dem Betrachter die präzise Verbindungsstärke vor (Abb. 16).

Um das Gesamtgewicht des Edelmetallgerüstes zu reduzieren, wurden die Brückenglieder von basal reduziert. Hierzu wird die Funktion der Dickendarstellung gewählt. Mit Hilfe des abtragenden Wachsmessers können die Brückenglieder ausgehöhlt werden (Abb. 17).

Aus virtuell wird analog

Die fertige CAD-Konstruktion kann nun an die Firma C. HAFNER gesendet werden. Dort wird die Konstruktion mit Hilfe der Nestingsoftware in der gewünschten Materialronde platziert und im Weiteren können die Fräsbahnen in der CAM-Software berechnet werden. Ausgehend vom Maschinennullpunkt werden im Koordinatensystem die einzelnen Fräsbahnbefehle zusammengefügt, um das in der Ronde befindende Objekt freizulegen (Abb. 18).

Die gefräste Brücke wird an den Auftraggeber gesendet und kann nun weiter verarbeitet werden, ohne dass Lagerkosten für Edelmetalle und Einbettmassen anfallen (Abb. 19). Der spannungsfreie Sitz und die Präzision der Ränder werden unter dem Mikroskop kontrolliert. Dank der abgestimmten Frässtrategien beschränkt sich die manuelle Nacharbeit auf das vollständige Verschleifen der Haltestifte sowie ein leichtes Gummieren der Kronenränder (Abb. 20 und 21).

Die keramische Verblendung

Das mit 110 Mikrometern Aluminiumoxid und 2 bar Strahldruck abgestrahlte Edelmetallgerüst wird in einem Washbrand mit einer ersten Schicht Opaquer benetzt. Der zweite Brand dient der vollständigen Abdeckung der zu verblendenden Flächen. Hierzu trage ich den Opaquer mit einem Glasinstrument auf. Mit dieser Vorgehensweise habe ich sehr gute Erfahrungen gemacht und erreiche eine gleichmäßige deckende Opaquerschicht. (Abb. 22).

Die basalen Aussparungen der Brückenglieder werden anschließend mit Schultermasse aufgefüllt und im entsprechenden Brennprogramm gebrannt (Abb. 23). Dank der gleichmäßigen Gerüstreduzierung kann die weitere Verblendung in nahezu einem Brand fertiggestellt werden, da die Schrumpfung der Keramikmassen dank der konstanten Verblendstärke einer gleichmäßigen Sinterschrumpfung unterliegt (Abb. 24). Der zweite Brand dient nur noch zur Ergänzung der approximalen Bereiche sowie der weiteren Ausformung der stark abradierten okklusalen Gestaltung.

Da es sich um eine Restauration im stark fortgeschrittenen Lebensalter handelt, beschränkt sich die Oberflächenstrukturierung auf einzelne Rissbildungen im Schmelz, welche schon durch farbliches Einlegen in der Schichtung verdeutlicht wurden. Um den Abnutzungsgrad der Zahnoberfläche zu imitieren, wird zur Durchführung des abschließenden Glanzbrandes eine gleichmäßige Schicht Glasurmasse auf die Oberfläche aufgetragen.

Nach dem Abbeizen der Brückenrestauration werden die sichtbaren metallischen Anteile auf Hochglanz poliert und gereinigt (Abb. 25-27).

Fazit

Auf Grund der inzwischen enorm vielfältigen Materialienauswahl und geforderten Flexibilität der zahntechnischen Labore ist es kaum noch möglich bzw. sinnvoll, jegliche Materialkomponenten selbst im Labor vorrätig zu haben. Auch die Materialanbieter müssen auf diese Situation reagieren und ihren Kunden innovative Möglichkeiten der Werkstoffnutzung bieten. Dank der durch die Firma C. HAFNER angebotene Auftragsfertigung entfallen dem Labornutzer kostenintensive Lagerhaltungskosten von teuren Edelmetalllegierungen. Durch den industriellen Fertigungsstandard der Fräsmaschinen wird das zerspante Material recycelt und in den Produktionsprozess zurückgeführt.

Björn Maier

- *Jahrgang 1976*
- *Von 1992 bis 1995 Ausbildung zum Industriemechaniker Fachrichtung CNC Technik und Feinmechanik*
- *Von 1995 bis 1999 Ausbildung zum Zahntechniker im elterlichen Betrieb, anschließend dreimonatiges Praktikum bei Dentallabor Mitch Unrath in Arizona (USA)*
- *Von 1999 bis 2001 Zahnmedizinische Universitätsklinik in Ulm*
- *Von 2001 bis 2006 in zwei gewerblichen Laboren und einem Praxislabor mit Schwerpunkt Implantologie und CAD/CAM in der Schweiz tätig, 4. Platz bei internationalem KunstZahnWerk-Wettbewerb der Firma Candulor, zahlreiche Veröffentlichungen in nationalen und internationalen Fachzeitschriften, erfolgreiche Teilnahme beim 3M Espe Talent Award*
- *Von 2006 bis 2007 Meisterschule Stuttgart*
- *Im Frühjahr 2007 Eröffnung des Dentallabors „Zahntechnik Björn Maier“, Mitautor der Bücher „Frontzahn-Restauration“ und „CAD/CAM-Technik“ (Verlag Neuer Merkur)*
- *Januar 2010 bis Dezember 2011 Mitarbeit an der Zahnmedizinischen Universitätsklinik München (Schwerpunkt CAD/CAM), Mitautor des Buches „Prothesenzähne und -kunststoffe“, Externer Berater zur Entwicklung der PalaVeneer Verblendschalen der Firma Heraeus-Kulzer*

Kontakt

Zahntechnik Björn Maier
Ludwigstr. 10 · 89415 Lauingen
Telefon: 09072 / 4352
Email: info@bjoern-maier.com
www.bjoern-maier.com