



Ralph Stelzer (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN 2016

Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung
und Konstruktionstechnik

Ralph Stelzer (Hrsg.) **ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN** 2016
Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Ralph Stelzer (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN 2016

Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung
und Konstruktionstechnik

Dresden · 30. Juni – 1. Juli 2016

Programmkomitee Virtuelle Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Prof. Dr. Ralph Stelzer, TU Dresden

Prof. Dr. Michael Abramovici, Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr. Reiner Anderl, TU Darmstadt

Prof. Dr. Martin Eigner, Universität Kaiserslautern

Prof. Dr. Detlef Gerhard, TU Wien

Prof. Dr. Jivka Ovtcharova, KIT Karlsruhe

Prof. Dr. Rainer Stark, TU Berlin

Prof. Dr. Sandor Vajna, Universität Magdeburg

Prof. Dr. Sandro Wartzack, Universität Erlangen

Entwickeln – Entwerfen – Erleben 2016.
Beiträge zur Virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
Herausgeber: Ralph Stelzer

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche
Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the
Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

ISBN 978-3-95908-062-0

© 2016 w.e.b. Universitätsverlag & Buchhandel
Eckhard Richter & Co. OHG
Bergstr. 70 | D-01069 Dresden
Tel.: 0351/47 96 97 20 | Fax: 0351/47 96 08 19
<http://www.tudpress.de>

TUDpress ist ein Imprint von w.e.b.

Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.
Layout und Satz: Technische Universität Dresden.
Umschlaggestaltung: TU Dresden, Illustration © 2016 TU Dresden
Printed in Germany.

Erscheint zugleich auf QUCOSA der SLUB Dresden
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-203878>



© 2016 SAP SE oder ein SAP-Konzernunternehmen. Alle Rechte vorbehalten.



KOMPLEXITÄT DREHT SICH IMMER NUR IM KREIS.



EINFACH TRIFFT ENTSCHEIDUNGEN.

Komplexität bremst Ihr Business aus. Denn je gewaltiger die Informationsflut, desto schwieriger die Entscheidungsfindung. SAP arbeitet daran, Dinge zu vereinfachen. Damit aus Daten Wissen und aus Wissen fundierte Entscheidungen werden, die Ihr Unternehmen weiterbringen. Finden Sie heraus, wie gemeinsam einfach möglich wird auf sap.de/runsimple

SAP
Run Simple

NC-gestützte Fertigung von Bohrschablonen für die dentale Implantation

Daniel Ellmann · Andreas Klar · Philipp Sembdner · Stefan Holtzhausen ·
Christine Schöne · Ralph Stelzer

Einleitung

Bei Zahnverlust ist das Setzen eines Implantates eine gängige und etablierte Behandlungsmethode. Zahnimplantate bieten für den Patienten viele Vorteile. Im Vergleich zum Einsatz einer klassischen Brücke müssen keine Nachbarzähne beschliffen werden. Gesunde Zahnschubstanz bleibt erhalten. Der künstliche Zahn sitzt fest und sicher im Kiefer und bietet Schutz vor Knochenverlust. Ein Implantat leitet die beim Kauen entstehenden Kräfte gleichmäßig in den Kieferknochen. Ein weiterer Vorteil ist die Sicherstellung der natürlichen Funktionen wie Kauen, Sprechen oder Lachen. Somit trägt implantatgetragener Zahnersatz erheblich zur Verbesserung der Lebensqualität bei.

Zur Planung des chirurgischen Eingriffs und dem eigentlichen Setzen des Implantates sind die Zahnärzte und Zahntechniker auf Softwarelösungen angewiesen, welche nicht nur die Möglichkeit der Befundung, Analyse und Diagnostik bieten, sondern gleichermaßen die Informationen liefern, die erforderlich sind, um mit Hilfe eines Computers die Fertigung einer Bohrschablone zu planen (CAM-System) und mittels CNC-Fertigung herzustellen.

Stand der Technik

Softwarelösungen für die Planung navigationsgestützter prothetischer Versorgung gibt es zahlreiche auf dem Markt, welcher gerade in diesem Segment einer sehr starken Schwankung unterliegt. Zu den am weitesten verbreiteten Systemen gehören coDiagnostiX (Straumann), SkyPlanX (Bredent), Simplant (Materialise), Facilitate (Astratech), ExpertEase (Dentsply), Implant3D (med3D) und NobelClinician (Nobel Biocare). Diese Systeme sind weitestgehend etabliert und die Anbieter können auf eine langjährige Erfah-

rung und Anwendung zurückgreifen. Im zunehmenden Maße etablieren sich auch Online-Portale wie z.B. smop (swissmeda), bei denen Behandler in einer Community über Dentalplanungen fachlich diskutieren können. Aufgrund einer teilweise schleppenden Weiterentwicklung der Systeme oder durch bestimmte Verkaufsstrategien weisen die angebotenen Softwarelösungen und Prozesse spezifische Nachteile auf.

Einige Systeme bieten dem Anwender einen Online-Versand der Daten nach der vollständigen Planung einer prothetischen Versorgung an. Der Anbieter fertigt dann eine neue Bohrschablone meist mittels generativer Fertigung im FDM-Verfahren oder per Stereolithografie. Somit hat der Kunde keinen Einfluss auf die Qualität und den Preis der gefertigten Schablone. Diese sind oftmals schlecht und weisen relativ große Maßabweichungen auf, was gerade im empfindlichen Dentalbereich mit zu erhaltenen Zahnwurzeln und Nervenkanälen nicht akzeptabel ist (Tsita et al. 2014). Des Weiteren sind die hohen Kosten dieser Variante vom Kunden zu tragen. Zudem bietet diese Lösung kein offenes Schnittstellenformat um die Schablone selbst fertigen zu können.

Andere Systeme weisen einen Bruch in der digitalen Informationsversorgung auf. So werden Bohrschablonen nicht durch NC-gestützte Fertigungsverfahren, sondern durch manuelle Bearbeitung an einem Bohrtisch hergestellt. Die Bereitstellung der Geometrieinformationen erfolgt über einen Papierausdruck mit Längen- und Winkelangaben. Die Nachteile liegen somit klar auf der Hand. Es ist zunächst die Anschaffung eines teuren Bohrtisches notwendig. Zudem erfordert diese Variante einen hohen Zeitaufwand und ist durch eine hohe Fehleranfälligkeit gekennzeichnet.

Das Dentallabor Rübeling+Klar (R+K) bietet seit vielen Jahren eigene NC-Fräsmaschinen für die Herstellung prothetischer Versorgung an und stellt somit die Grundlage für die Herstellung individueller Bohrschablonen bereit. Aufgrund der fehlenden Anbindung an die Maschine wurden bisher bei der Planung eines Implantates verschiedene Softwarelösungen eingesetzt. So erfolgte die Planung in einem der oben genannten Softwaresysteme, welches die Möglichkeit des STL-Exports der Implantate ermöglicht. Mit der Software Rhino (Rhinceros) wurden diese diskreten Implantatmodelle importiert und aufwändig verschiedene Hilfsgeometrien wie Achsen oder Ebenen für die Weiterverarbeitung im CAM-System modelliert. Dieser Prozess ist jedoch dem Zahntechniker sehr schwer vermittelbar und birgt einige enorme Fehlerquellen. Zudem wird von den kostenintensiven Standardsoftwarelösungen nur ein Bruchteil des Funktionsumfangs ausgenutzt.

Die Zielstellung ist folglich die Entwicklung einer Prozesskette zur vollständig rechnergestützten Planung und Fertigung mit innovativen Werkzeugen,

bei der unnötige Datenübergaben und teure Fremdprodukte vermieden und eine hohe Prozesssicherheit garantiert werden. Die Umsetzung erfolgte in einer Softwarelösung, die eine logische Funktionsabfolge bietet und damit eine zielgerichtete Planung gewährleistet.

Prozesskette

Die Prozesskette zur navigationsgestützten Implantation mit Hilfe einer NC-gefertigten Bohrschablone ist in Abbildung 1 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass neben der Notwendigkeit von unterstützenden Werkzeugen zur Planung, Fertigung und Qualitätskontrolle vor allem die Zusammenarbeit zwischen Zahnarzt, Kieferchirurg und Zahntechniker in einem Dentallabor essentiell ist.

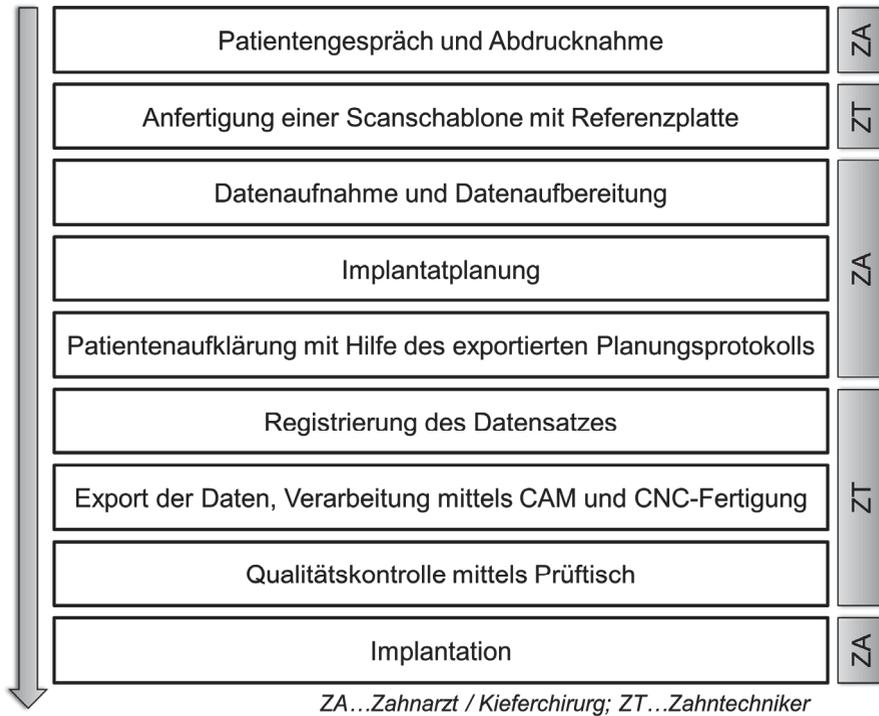


Abbildung 1: Prozesskette für die navigationsgestützte Implantation unter Anwendung einer NC-gefertigten Bohrschablone

Diagnostik und Vorbereitung

Die prothetische Versorgung beginnt mit einer Visite des Patienten beim Behandler (z.B. Zahnarzt), wobei ein erstes Patientengespräch stattfindet und ein Abdruck des Gebisses genommen wird. Auf Grundlage des Abdrucks wird eine Scanschablone durch ein Dentallabor angefertigt. Diese aus Kunststoff angefertigte Schablone stellt eine dünne Hüllgeometrie über dem Kiefer dar, in die zusätzlich eine Registrierplatte eingeklebt wird. Diese Platte beinhaltet acht unsymmetrisch angeordnete Kugeln. Diese sind auf der Schablone derart verteilt, dass alle Abstände zwischen den Kugeln nur einmal vorkommen. Das Kugelmuster ist bekannt und wird für die Registrierung des Datensatzes nach der Planung genutzt. Das Plattenmaterial ist ein nicht röntgenopaker Kunststoff (z.B. PMMA). Die Kugeln weisen einen Durchmesser von 4mm auf und bestehen aus röntgenopaken Si3N4 (Keramik). Ferner weist die Registrierplatte drei Bohrungen auf, über die die Schablone mit Registrierplatte über den gesamten Prozess hinweg reproduzierbar eingespannt wird. Aufgrund der unsymmetrischen Anordnung ist ein Verdrehen bzw. verkehrtes Einlegen ausgeschlossen (siehe Abbildung 3).

Datenaufnahme und Datenaufbereitung

Die Datenakquise erfolgt durch ein bildgebendes Verfahren wie die Computertomografie (CT) oder die höher auflösende Digitale Volumentomografie (DVT). Dabei werden der Bereich des Kiefers und die Scanschablone mit den Registrierkugeln erfasst.

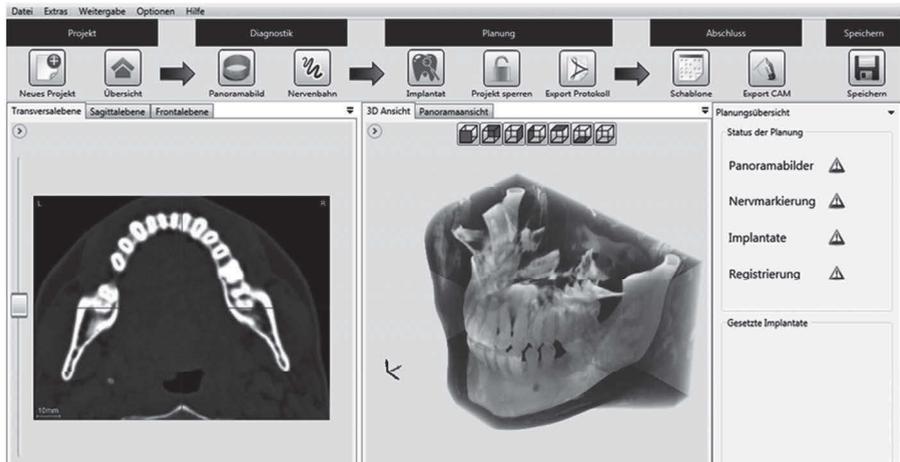


Abbildung 2: Programmoberfläche „Organical Dental Implant“

Die Daten werden in das entwickelte Softwareprogramm „Organical Dental ImPlant“ (siehe Abbildung 2) importiert. Es erfolgt zunächst eine Ausrichtung des Bildstapels. Dazu wird eine reduzierte röntgenähnliche Darstellung des Datensatzes generiert (Hofmann et al. 2014). Über Schieberegler dreht der Anwender das Objekt in allen Raumrichtungen an die gewünschte Position. Insbesondere ist die Ausrichtung anhand der Kauebene für die Planung von Interesse. Lag der Patient nicht achsparallel zur Rotationsachse im CT/DVT kann dies ebenfalls an dieser Stelle korrigiert werden. Weiterhin ist die Reduzierung des Datensatzes möglich. So können Bereiche, die nicht von Interesse sind (z.B. Luft, andere Gewebebereiche etc.) von der weiteren Verarbeitung ausgeschlossen werden.

Die Definition eines beliebig gekrümmten Schnittbildes durch den Schichtbildstapel erlaubt die Festlegung einer Panoramaansicht (Sembdner et al. 2012). Dazu werden in zwei ausgewählten Schnittbildern Begrenzungskurven entlang des Kieferbogens definiert. Zwischen diesen Kurven wird eine Freiformfläche erzeugt. Über eine diskrete Rasterung der Fläche mit definierten Abständen, dies entspricht dem Pixelabstand bzw. der Bildauflösung, wird ein neues Schnittbild erzeugt. Die Zuordnung der Grauwertintensitäten erfolgt durch die Interpolation der Grauwertintensitäten benachbarter Voxel (=Pixel im Raum) des Rasterpunktes. Durch die gleichmäßige Rasterung wird das Bild nicht verzerrt dargestellt.

Eine weitere Funktion des Planungswerkzeuges erlaubt die Markierung des Verlaufs des Nervenkanals im Unterkiefer. Dabei wird der Verlauf des Kanals in der erzeugten Panoramaansicht durch die Definition mehrerer Kontrollpunkte festgelegt. Eine Feinjustierung ist anschließend durch Verschieben der Kontrollpunkte in Schnittbildern möglich. Diese Schnittbilder werden generiert, indem der jeweilige Kontrollpunkt den Mittelpunkt einer planaren Fläche darstellt, die wie auch die Freiformfläche bei der Erstellung der Panoramaansicht diskretisiert wird, um das Schnittbild zu erzeugen. Die Orientierung dieser Fläche bzw. des Schnittbildes erfolgt durch die Berechnung des Normalenvektors anhand benachbarter Kontrollpunkte.

Planung von Dentalimplantaten

Die Planung der Dentalimplantate erfolgt zunächst in einer ersten Grobausrichtung auf der Panoramaansicht. Durch die Darstellung weiterer Schnittbilder, die in Abhängigkeit der Implantatposition in Echtzeit erstellt werden, erfolgt in einer zweiten Stufe eine Feinausrichtung anhand der Zahn- und Knochensituation. Dazu wird unter anderem eine 360-Grad-Ansicht um die Implantatachse erzeugt. Zusätzlich wird die Planung durch eine 3D-Darstellung des Datensatzes in Form einer Volumengrafik (Volume ren-

dering) unterstützt. Die Implantatgröße (Durchmesser an Implantatschulter und -spitze sowie Länge) wird durch den Anwender anhand der verfügbaren Platzverhältnisse definiert. Dabei findet auch eine Kollisionsüberprüfung der Implantate zum Unterkiefernerve sowie der Implantate untereinander statt. Zudem kann ein gewisser Grenzwert für den Abstand definiert werden, der nicht überschritten werden darf. Mit Hilfe einer integrierten Datenbank wird nach Durchführung der Positionierung ein passendes Implantat aus den am Markt verfügbaren Produkten gewählt. Ist die Planung aller Implantate abgeschlossen, wird das Projekt gegen weitere Veränderungen gesperrt. Mit Hilfe eines zu exportierenden Planungsprotokolls erfolgt eine Patientenaufklärung.

Registrierung des Datensatzes

Erst nach der Sperrung des Projektes erfolgt die Registrierung des Datensatzes mit Hilfe der erwähnten Registrierplatte. Die Registrierung ist notwendig, da die Implantate im Koordinatensystem des Schichtbildstapels definiert wurden. Für die weiterführende Fertigung ist jedoch die Lage bezüglich des Plattenkoordinatensystems, welches eindeutig bestimmt und entlang der Prozesskette durchgehend verwendet wird, notwendig. Mit Hilfe von Algorithmen der Bildverarbeitung und einer geeigneten Schwellwertsetzung werden zunächst die Kugeln, deren Durchmesser bekannt sind, im Datensatz des Schichtbildstapels gesucht. Dabei muss berücksichtigt werden, dass im selben Grauwertbereich auch Zahnstrukturen und Metallartefakte bestehender Versorgungen vorliegen, die das Schichtbild durch Abschattungsstrukturen verfälschen. Um ein sicheres und robustes Auffinden der Kugeln zu ermöglichen, werden daher beim entwickelten Algorithmus zur Kugelfindung verschiedene, in Reihe geschaltete Bildfiltermethoden verwendet. Für das Auffinden der Kugeln und der Bestimmung der Kugelmittelpunkte bezüglich des CT-Koordinatensystems wird das RANSAC-Verfahren (random sample consensus) angewendet (Schnabel et al. 2007). Die Bestimmung der Transformationsmatrix für den Basiswechsel zwischen CT-Koordinatensystem und Plattenkoordinatensystem erfolgt durch Zuordnung der Kugelmittelpunkte zu den bekannten Kugeln im Referenzkoordinatensystem. Dabei müssen mindestens drei Kugeln gefunden werden um eine eindeutige Transformation herzustellen. Die Qualität der Registrierung ist insbesondere von der Auflösung des Schichtbilddatensatzes abhängig. (Holtzhausen et al. 2015)

Export der Daten und Fertigung der Schablone

Die für die Fertigung der Bohrschablone wesentlichen geometrischen Daten werden in einem neutralen Austauschformat (z. Zt. IGES und XML) exportiert.

tiert. Diese Daten werden dann weiterführend in einem CAM-System für die CNC-Fertigung weiterverarbeitet. Dabei sind prinzipiell alle CAM-Systeme mit Mehrachsfunction und entsprechender Importmöglichkeit verwendbar. Während der Fertigung werden neben der Bohrung für die Bohrhülse auf der Ober- und Unterseite der Schablone entlang der Achse der Bohrhülse Taschen mit einem Durchmesser von 10mm gefräst. Diese gewährleisten einen sicheren Sitz der Bohrhülse und sind zudem für die nachgeschaltete Qualitätskontrolle mittels Prüftisch erforderlich. In die Bohrungen werden die Bohrhülsen eingesetzt bzw. eingepresst. Mit diesem Schritt wird die Scanschablone in eine Bohrschablone umgearbeitet (siehe Abbildung 3).

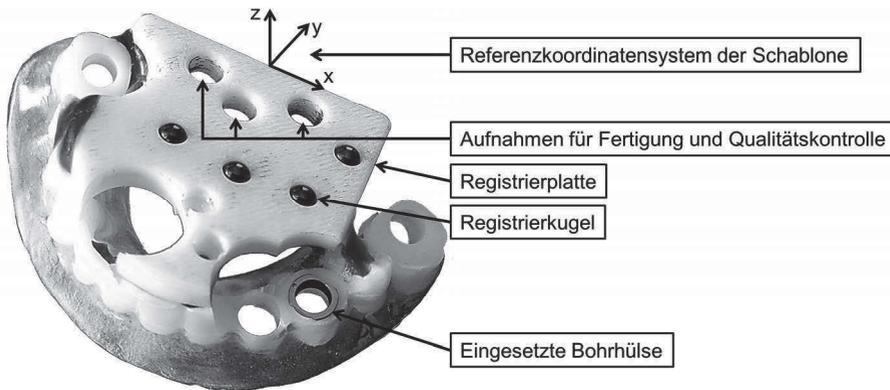


Abbildung 3: gefertigte Bohrschablone mit eingesetzter Bohrhülse

Qualitätskontrolle und Implantation

Nach der Fertigung wird die korrekte Lage der Bohrhülsen über einen eigens entwickelten Prüftisch validiert (siehe Abbildung 4). Dabei werden in jede Bohrhülse nacheinander zwei Prüfstifte verschiedener Längen eingeschraubt. An der Unterseite der Prüfstifte befindet sich eine Prüfkugel, deren Position über Messschieber in allen drei Raumrichtungen ermittelt wird. Mit Hilfe einer zuvor durchgeführten Kalibrierung erfolgt eine Rückrechnung auf das Referenzkoordinatensystem der Schablone und somit ein Soll-Ist-Vergleich. Für diesen Vergleich gibt der Anwender die gemessenen Werte in ein an die Software gekoppeltes Prüfmodul ein. Es erfolgt im Anschluss eine Auswertung und die Ausgabe eines Prüfprotokolls.

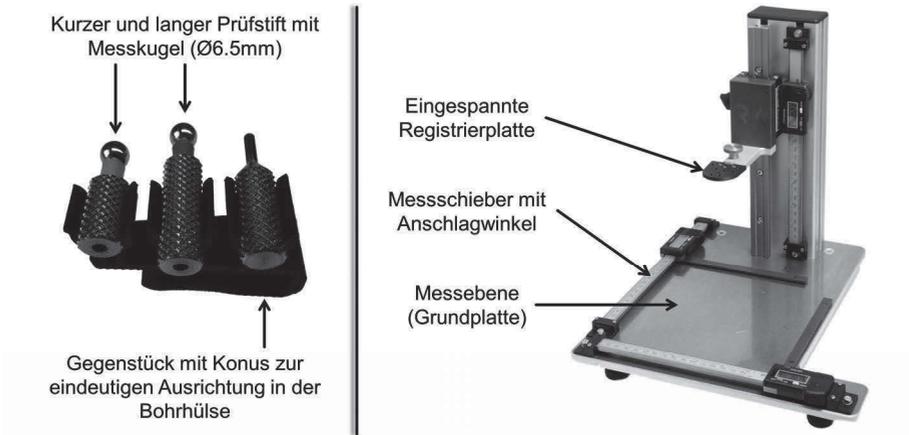


Abbildung 4: entwickelter Prüftisch zur Qualitätskontrolle

Abschließend findet die navigierte Implantation mit Hilfe der Bohrschablone statt. Dabei wird der Bohrer durch die Bohrhülse geführt. Zusätzlich wird durch einen definierten Anschlag am Bohrer und dem geplanten Tiefenstopp aufgrund der Lage der Bohrhülse eine eindeutige Bohrtiefe erzielt. Somit wird die Gefahr der Verletzung von umliegenden Knochen- und Weichteilgewebe, Zahnwurzeln oder des Nervenkanals reduziert.

Zusammenfassung

Die dargestellte Prozesskette ermöglicht eine präzise sowie zeit- und kosteneffiziente NC-gestützte Herstellung von Bohrschablonen. Erste Untersuchungen zeigen, dass aufgrund des durchgängig digital geführten Planungs- und Herstellungsprozesses eine wesentlich höhere Präzision erzielt werden kann, da Genauigkeitsverluste durch unnötige Datenkonvertierungen und Herstellungsungenauigkeiten (z.B. bei der generativen Fertigung) ausgeschlossen werden können. Zudem ist die entwickelte Software zielorientiert aufgebaut und beschränkt sich auf wesentliche Funktionen. Die Trennung der Aufgaben wird durch eine Master- und eine Doktor-Version realisiert. Während der Behandler aufgrund der oftmals knapp bemessenen Zeit nur die Planung übernimmt, werden die Datenvorbereitung sowie notwendige Nacharbeiten wie Registrierung und Fertigung durch das Dentallabor durchgeführt.

Ausblick

Weiterführend ist die Registrierung von Schichtbilddaten eines Patienten mit seinen Oberflächenscandaten (intraoraler Zahnscan) sowie von Oberflächenscandaten (optische Scanverfahren) seiner Scanschablone als wesentliche Funktionserweiterung des Prozesses geplant. Ziel dabei ist, dass auch Datensätze verarbeitet werden können, in denen keine Informationen über die Registrierplatte im Schichtbildstapel, und somit in der Planungsumgebung vorhanden sind. Mit der Registrierung ist nachträglich die Koordinatentransformation der Implantatgeometrien in das Registrierplattensystem möglich. Eine weitere Anwendung der Oberflächenscandaten ist die zusätzliche Visualisierung von Konturzügen in der Schichtbildansicht. Dies ist insbesondere bei Schichtbilddatensätzen interessant, bei denen durch sehr hohes Rauschen aufgrund von Metallartefakten kein saubererer Übergang zwischen Weich- und Knochengewebe erkennbar ist.

Literaturverzeichnis

- Tsita, V., Arnold, C., Setz, J. M. & Boeckler, A. F. (2014): Methodik und Präzision geführter Implantationen mittels chirurgischer Bohrschablonen. In: Quintessenz Zahntech, 40(4), 390-394
- Hofmann, D., Sembdner, P., Holtzhausen, S., Schöne, C., Stelzer, R. (2014): Potenzial der bildgebenden Digitalisierverfahren im Maschinenbau. In: Brökel, K., Feldhusen, J., Grote, K.-H., Rieg, F., Stelzer, R. (Hrsg.): 12. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2014, Methoden in der Produktentwicklung: Kopplung von Strategien und Werkzeugen im Produktentwicklungsprozess, 183-192, Bayreuth: Universität Bayreuth.
- Sembdner, P., Holtzhausen, S., Schöne, C., Stelzer, R. (2012): Möglichkeiten der Bauteiluntersuchung mittels Computertomografie. In: Paul, L., Stanke, G., Pochanke, M. (Hrsg.): 3D-NordOst 2012, 15. Anwendungsbezogener Workshop zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten, 57-66, Berlin: Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik (GFal).
- Schnabel, R., Wahl, R. and Klein, R. (2007): Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection. In: Computer Graphics Forum, 26, 214-226
- Holtzhausen, S., Schöne, C., Sembdner, P., Stelzer, R., Klar, A., Ellmann, D. (2015): Featuredetektion in CT-Daten am Beispiel der Registrierung von Bohrschablonen für die Dentalimplantatversorgung. In: Paul, L., Stanke, G., Pochanke, M. (Hrsg.): 3D-NordOst 2015, 18. Anwendungsbezogener Workshop zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten, 81-88, Berlin: Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik (GFal).

Kontakt

ZTM Daniel Ellmann
ZTM Andreas Klar
Rübeling+Klar Dental-Labor GmbH
Ruwersteig 43
12681 Berlin
www.ruebeling-klar.de

Dipl.-Ing. Philipp Sembdner
Dr.-Ing. Stefan Holtzhausen
Dr.-Ing. habil. Christine Schöne
Prof. Dr.-Ing. habil. Ralph Stelzer
Technische Universität Dresden
Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion
Lehrstuhl Konstruktionstechnik/CAD
George-Bähr-Straße 3c
01069 Dresden
www.tu-dresden.de/mw/ktc