



### Zusammenfassung

In der oralen Implantologie ist eine präzise präoperative Planung sowohl der Implantatinserterion als auch der prothetischen Versorgung wichtigste Grundlage einer erfolgreichen Rehabilitation des implantatprothetisch zu versorgenden Patienten. Die radiologischen Daten können durch moderne dreidimensionale Aufnahmetechniken wie der digitalen Volumentomographie mit niedriger Strahlenbelastung bei ausgezeichneter Bildgenauigkeit gewonnen und mit verschiedenen Softwareprogrammen bearbeitet werden. Ebenso kann heute die exakte dreidimensionale Position der geplanten Implantate im Vorfeld der Implantatinserterion bestimmt und in den Operations-situs übertragen werden. Eine so geplante Behandlung wird schnell, wenig invasiv und vor allem vorhersagbar durchgeführt.

### Indizes

Implantatprothetik, digitale Volumentomographie, schienengeführte 3D-Navigation, laborgefertigte Schienen, stereolithographisch gefertigte Schienen

## Prothetisch basierte, schienengeführte 3D-Navigation in der oralen Implantologie

**Pascal Marquardt**

Konventionelle, zweidimensionale Diagnostik anhand von Orthopantomogramm und Zahnfilmen kann in vielen Situationen, sowohl im Hinblick auf die Prognose des chirurgischen Eingriffes wie auch auf die Vorhersagbarkeit des prothetischen Resultates, unzureichend sein. Durch die Einführung digital gestützter Systeme für die Diagnostik und deren Umsetzung in den operativen Situs auf der Grundlage von dreidimensionalen Datensätzen der Knochenstruktur ist es heute möglich, die beiden zentralen Aspekte – den der exakt geplanten prothetischen Ideallösung und den der anatomischen Gegebenheit – im Vorfeld einer Implantation zu vereinen. Hierzu können dreidimensionale Daten einer Computertomographie (CT) oder einer digitalen Volumentomographie (DVT) im DICOM-Format (DICOM = Digital Imaging and Communications in Medicine) in speziellen Softwareprogrammen zur Darstellung, Analyse und zu einer späteren Verarbeitung für eine Schienenherstellung genutzt werden.<sup>2,3,6-9,11</sup> Moderne Volumentomographen können dreidimensionale Abbilder aller für die orale Implantologie notwendigen Strukturen bei einer sehr niedrigen Strahlenbelastung und dabei ausgezeichneten Bild-

### Einleitung



genauigkeit generieren. Im Vergleich zur konventionellen Panoramaschichtaufnahmen benötigen diese Geräte bei entsprechender Geräteeinstellung eine nur zwei- bis vierfach höhere Strahlendosis.<sup>4,10</sup> Durch die anschließende Bearbeitung der Daten in Planungsprogrammen kann bereits vor dem operativen Eingriff das Knochenangebot im prothetisch relevanten Kieferabschnitt analysiert werden. Eventuell bestehende Risiken können ohne chirurgische Intervention diagnostiziert werden. Der Befund und die entsprechende individuelle Behandlungsplanung können im Anschluss dem Patienten anschaulich und verständlich am Computer dargestellt werden.

Verschiedene Softwareprogramme sind seit einiger Zeit auf dem Markt, die durch unterschiedliche Techniken eine Umsetzung der präoperativ am Bildschirm geplanten Position des Implantates in den klinischen Situs ermöglichen. Die Übertragung der Implantatposition erfolgt hierbei immer durch eine chirurgische Führungsschiene. Optische Kamera-Systeme konnten sich aufgrund hoher Kosten und mangelnder klinischer Genauigkeit nicht durchsetzen. Man muss zwischen stereolithographisch, in einer zentralen Produktionsstelle hergestellten Schienen auf der Basis digitaler Röntgendaten und mechanisch, vom Zahntechniker lokal hergestellten Schienen unterscheiden. Zur Herstellung stereolithographischer Schienen wird die im Vorfeld der Röntgenaufnahme hergestellte Röntgenschiene mit dem 3D-Röntgengerät eingescannt. Nach der virtuellen Positionierung der Implantate am Bildschirm werden vollautomatisch die entsprechenden Hülsen digital in die Schiene integriert und die Schiene dreidimensional ausgedruckt.<sup>13</sup> Die so hergestellte Schiene wird dann an den Kunden versandt. Bei mechanisch hergestellten Schienen kann der Zahntechniker vor Ort die gewünschten Führungshülsen in die von ihm zuvor hergestellte und auf Passung überprüfte Röntgenschiene über einen Positionier integrieren.

### Prothetisch basierte Implantologie

Grundlage aller Systeme zur geführten Implantatinsertion stellt das so genannte Backward-Planning dar. Hier bildet ein am Patienten auf Funktion und Ästhetik getestetes Set- und Wax-up die verbindliche Basis für die prothetische und chirurgische Rehabilitation.<sup>1,12</sup> Dieses Set-up wird mit röntgenopaken Zähnen im Patientenmund per Kunststoff-Schiene in die dreidimensionale Aufnahme übertragen, sodass die Implantatposition während der Planung am Computer optimal an die prothetische Situation angepasst werden kann. Eventuell zur prothetischen Implantatposition notwendige Knochenaufbauten können ebenfalls mitgeplant werden. In einigen Situationen kann durch geschicktes Positionieren des Implantates auch ein Knochenaufbau vermieden werden.

Diese so optimierte Planungsphase bietet durch die präzise gewordene Umsetzung während der chirurgischen Phase die Möglichkeit, das prothetisch optimale Behandlungsergebnis zu erreichen. Zudem sind Sicherheit bei minimal-invasiven Eingriffen ohne Lappenbildung und bei reduziertem Knochenangebot neben der prothetisch optimierten Implantatposition die Hauptvorteile einer geführten Implantation. Falls gewünscht, kann ein Sofortprovisorium sehr genau im Vorfeld der Operation angefertigt und nach Insertion der Implantate ohne wesentliche Modifikationen eingegliedert werden.

### 3D-Führung der gesamten Implantatinsertion

Konnte bisher nur die Position der Implantatschulter oder die Achse der Bohrung in die klinische Anwendung umgesetzt werden, so ist es heute möglich, die gesamte dreidimensionale Position der geplanten Implantate in den Operations-Situs zu übertragen.

Fast alle großen Implantathersteller haben oder werden in Kürze für ihre Kunden ein entsprechendes Bohrer-Hülsen-System auf der Basis überlanger, tiefengesicherter Bohrer anbieten.

Die vollständige Insertion des Implantates durch die Führungsschiene ermöglicht eine wesentlich genauere Übertragung. Es werden allerdings erhöhte Anforderungen an das gesamte Führungs-System gestellt. Entscheidend sind, neben äußerster Präzision bei der Schienenherstellung, permanent für den Behandler nachvollziehbare Sicherheits-Parameter, die die aktuelle Genauigkeit des Systems anzeigen. Hier bietet das von C. Hafner (Pforzheim) vertriebene CeHa-imPLANT® powered by med3D System die Möglichkeit der exakten Kontrolle von Schiene, CT/DVT-Scan und Hülsenpositionierung im Labor.

Die im Labor hergestellte Röntgen-Schiene muss vor dem Röntgen-Scan am Patienten anhand von eingelassenen Sichtfenstern auf optimale und fortwährend reproduzierbare Passung hin überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden (Abb. 1). Mögliche Bewegungsartefakte des Patienten während der teilweise bis zu 40 s andauernden DVT- oder CT-Aufnahmen können im Anschluss anhand von in die Schiene eingebrachten Sicherheitsmarkern einfach entdeckt und in der Planung berücksichtigt werden. Zudem ermöglicht das System eine dreidimensionale Kontrolle der manuell eingebrachten Hülsenposition durch einen speziellen Kontroll-Ausdruck. Ungenauigkeiten, wie sie bei der Herstellung stereolithographischer Schienen durch die digitale Reproduktion einer geröntgten Diagnostikschiene und deren dreidimensionalen Ausdruck zwangsläufig entstehen (Abb. 2), können somit vermieden werden. Spielen diese aufgrund der Resilienz der Gingiva beim zahnlosen Patienten eine untergeordnete Rolle, so stellt bei teilbezahnten Patienten die laborgefertigte Modifikation der Röntgenschiene einen entscheidenden Vorteil zum Erreichen einer möglichst hohen Genauigkeit dar. Zudem sind laborgefertigte Schienen nicht nur genauer, sondern auch im Vergleich zu stereolithographischen Schienen deutlich günstiger herzustellen.<sup>5</sup>

Parameter zur Überprüfung der Systemgenauigkeit

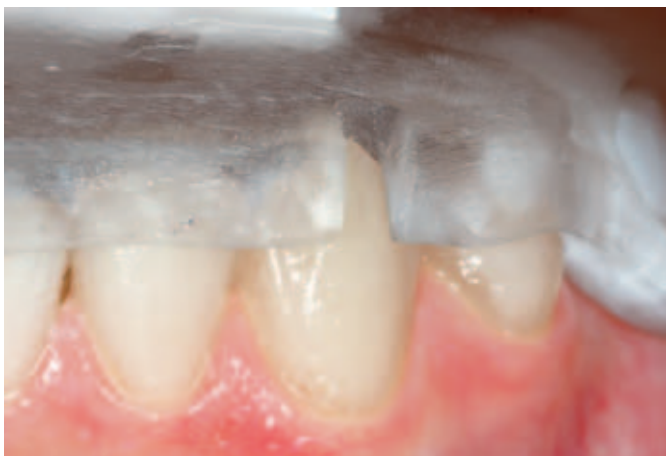


Abb. 1 Eingelassene, scharf begrenzte Sichtfenster lassen eine permanent exakte Repositionierung der Schiene zu, sodass immer die gleiche Position der Schiene wie beim Röntgenscan gefunden werden kann.



Abb. 2 Ansicht des Lieferzustandes einer stereolithographisch hergestellten Führungsschiene. Diese muss im Labor nachbearbeitet werden. Eine exakte, der Röntgenschiene entsprechende Repositionierung im bezahnten Kiefer scheint nur schwer möglich.



Abb. 3 Die fertige, im Labor durch Vorwalltechnik auf Basis des diagnostischen Wax-ups hergestellte Röntgenschiene.

### Workflow und Falldarstellung

Auf Basis des diagnostischen Set-ups wird eine Röntgenschiene hergestellt (Abb. 3). Anhand der folgenden Übersicht „Workflow“ sind die wesentlichen Merkmale einer sinnvollen Schienenherstellung ersichtlich. Je genauer die Herstellung der Schiene ist, desto genauer ist im Anschluss die Übertragungsmöglichkeit der am Computer geplanten Implantatposition in den Operations-Situs. Der eingebaute Steckbaustein wird zur Referenzierung der Software mit dem Datensatz sowie zum Einbringen der Führungshülsen benötigt. Zudem werden im Bereich der geplanten Implantationen zwei Markierungen aus Guttapercha angebracht, die zur Überprüfung des radiologischen Datensatzes dienen. Mit der in einer sicher reproduzierbaren Position verankerten Schiene wird der dreidimensionale Datensatz mittels Computertomogramm (CT) oder digitalem Volumentomogramm (DVT) angefertigt und per CD an den behandelnden Arzt übermittelt. Nachdem der in die Software integrierte, virtuelle Steckbaustein mit dem gescannten Stein zur Referenzierung der Software in Übereinstimmung gebracht wurde (Abb. 4) und die

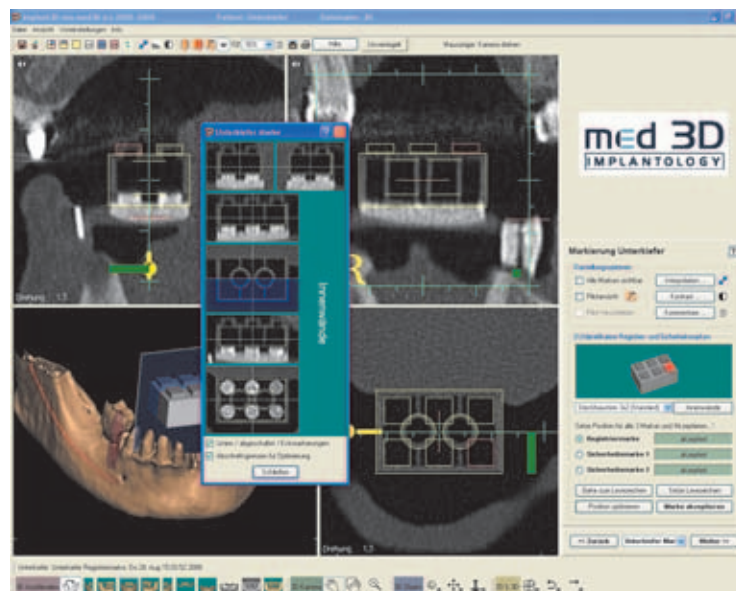


Abb. 4 Referenzierung der Software durch Überlagerung der Legosteine.

### Der Workflow zur Herstellung von Röntgenschienen

1

Präzise Abformung des betreffenden Kiefers und Gegenkiefers (Alginat, Silikon oder Polyether): Nach Möglichkeit zu erneuern- de metallkeramische Kronen vor der Röntgenaufnahme wegen der entstehenden Streustrahlung entfernen und provisorisch versorgen. Abformung über die Zahnstümpfe, Bissnahme.

2

Einartikulation der Modelle aus Superhartgips.

3

Set-up aller zu ersetzenden Zähne. Je nach Gegebenheit sollte das Wax-up auf die benachbarten Zähne ausgeweitet werden, um mögliche Variationen der Implantatposition aufgrund der im Röntgenbild vorgefundenen Knochenverhältnisse zu ermöglichen.



Das Set-up auf dem Modell.

4

Der marginale Bereich wird mit Wachs in der Kronenflucht bis zur Gingiva ergänzt, um nach der Überführung in röntgenopaken Kunststoff in der Planungssoftware die Dicke der Gingiva beurteilen zu können (Ende des Bariumsulfat-Zahnes, Knochens). Der Einsatz vorgefertigter, röntgenopaker Zähne kann nicht empfohlen werden, da bei fehlender basaler Ergänzung die wichtige Information der Gingiva-Dicke verloren geht und zudem nur eine stark eingeschränkte Formenvielfalt, insbesondere bei Gesamtaufstellung bei zahnlosen Kiefern, zur Verfügung steht.



Ein marginaler Antrag von Wachs an die Prothesenzähne.

5

Die aufgestellten/aufgewachsenen Zähne werden in Bariumsulfat (1 Gewichtsanteil Bariumsulfat-Pulver auf 4 Gewichtsanteile glasklarem Kunststoff, abhängig von der Röntgentechnik) überführt. Das Bariumsulfat-Kunststoffgemisch (schon das Pulver) muss gründlich durchgemischt werden. Auf eine von basal-interdental (über-)deutliche Separation benachbarter zu ersetzender Zähne ist zu achten, um eine entsprechende Übersicht im Röntgenbild zu gewährleisten.



In die Bariumsulfat-Mischung dublierte Zähne des Set-ups.

6

Zur besseren Orientierung in der Planungsphase werden in Zahnachse ca. 1 mm dünne, durchgehende vertikale Bohrungen angebracht. Diese müssen exakt der geplanten, optimalen Achse des prothetisch optimal positionierten Implantates entsprechen. Die Bohrungen stellen eine sehr wichtige Orientierung während der Computerplanung dar und müssen mit absoluter Präzision angefertigt werden.

7

Nach Herstellung der Zähne werden diese in eine Schienen-Wachsmodellation übernommen, die die Ausdehnung der Kunststoffbasis der Schiene bestimmt. Die Bariumsulfat-Zähne sollten zirkulär mit Kunststoff gefasst sein, um genügend Stabilität zur Aufnahme der Führungshülsen zu gewährleisten. Die Basis sollte in einigen Bereichen leicht unter den prothetischen Äquator gehen, um einen sicheren Halt der Schiene zu erreichen.

8

Überführung der Wachsmodellation in glasklaren Kunststoff.



Die ausgearbeitete Wachsmodellation der Schienenbasis und das Modell mit den Silikonschlüsseln zur Überführung der Wachsmodellation in Kunststoff.

9

In Nähe der geplanten Implantatposition und deutlich apikal der eventuell mit metallischen Restaurationen versehenen Kau-ebene werden an der Basis, oder an speziell hierzu anmodellier- ten Ausläufern, zwei Sicherheitsmarker angebracht. Die Kontrollmarker müssen so angebracht werden, dass beide von der Kau-ebene her bei vertikaler Aufsicht gleichzeitig sichtbar sind. Die ca. 1,5 mm langen Gutta-percha-Marker haben einen Durchmesser von ca. ISO 60. Die Mitte der Marker muss eindeutig und artefakt- frei in der Software identifiziert werden können.



In die Kunststoffbasis eingelassene Gutta-perchamarker dienen der Überprüfung der Systemgenauigkeit.



## zur schienengeführten Navigation nach Marquardt und Woerner

**10**

Nach Fertigstellung der Basis wird ein dünner Legostein (Lego „Plate“ 2 x 3) über dem mit Knetsilikon ausgeblockten Bereich angebracht. Die Position des Legosteines ist unbedingt über möglichen metallischen Füllungen oder Kronen zu wählen, um eine genaue, artefaktfreie Referenzierung der Software zu gewährleisten.

Der Kunststoffanteil unter dem Legostein darf aufgrund der zu erwartenden Schrumpfung, die sich auf den Legostein übertragen würde, nicht zu voluminös gestaltet werden.



Knetsilikon zum Ausblocken der Auflage des schmalen Legosteines. Zu viel Kunststoff würde den Legostein in der Dimension verziehen.

**11**

Einarbeitung von zwei bis vier Sichtfenstern mesial und distal zur Überprüfung des Sitzes der Schiene vor der CT-/DVT-Aufnahme. Nur so kann eine exakte Repositionierung der Schiene intraoperativ gewährleistet werden. Gegebenfalls kann eine nicht korrekt passende Schiene vor der Röntgenaufnahme mit Kunststoff (Pattern Resin, GC Europe, Leuven) unterfüttert werden.

**12**

Beilage eines hohen Legosteines (Lego 2 x 3) für die CT-/DVT-Aufnahme zur Justierung der Aufnahme in der Software.



Die fertige Röntgenschiene.

**13**

Fertige Schiene mit den wesentlichen Merkmalen:

- Sicherer, fester Schienensitz durch Basisgestaltung bzw. sauberen Sitz auf dem Restzahnbestand.
- 2 im OP-Gebiet apikal positionierte Sicherheitsmarker
- einpolymerisierter, schmaler 6-Punkte Legostein über der Okklusionsebene
- 3 bis 4 Sichtfenster zur Kontrolle und Reproduktion des Schienensitzes

**14**

Die dem System entsprechende Führungshülse (hier Nobel Guide RP) wird mit Autopolymerisat (Pattern Resin) in der Schiene befestigt. Die Wahl von farblich gut zu unterscheidendem Kunststoff macht es vor allem bei Schaltlücken leichter, bei der Befestigung der Hülse entstandene Überschüsse im Bereich der Nachbarzähne zu entfernen, die eine exakte Repositionierung der Schiene nicht mehr zuließen.



Das Einbringen der Führungshülsen.

Die Schiene muss nach der Hülsenpositionierung auf dem Herstellungsmodell exakt zu repositionieren sein. Besondere Berücksichtigung bei der Planung der Implantatposition in der Software müssen speziell bei Einzelzahnlücken die zur komplett geführten Implantatinsertion verwendeten, 6 bis 7 mm breiten Hülsen finden. Ein Kontakt zu den Nachbarzähnen ist auszuschließen.

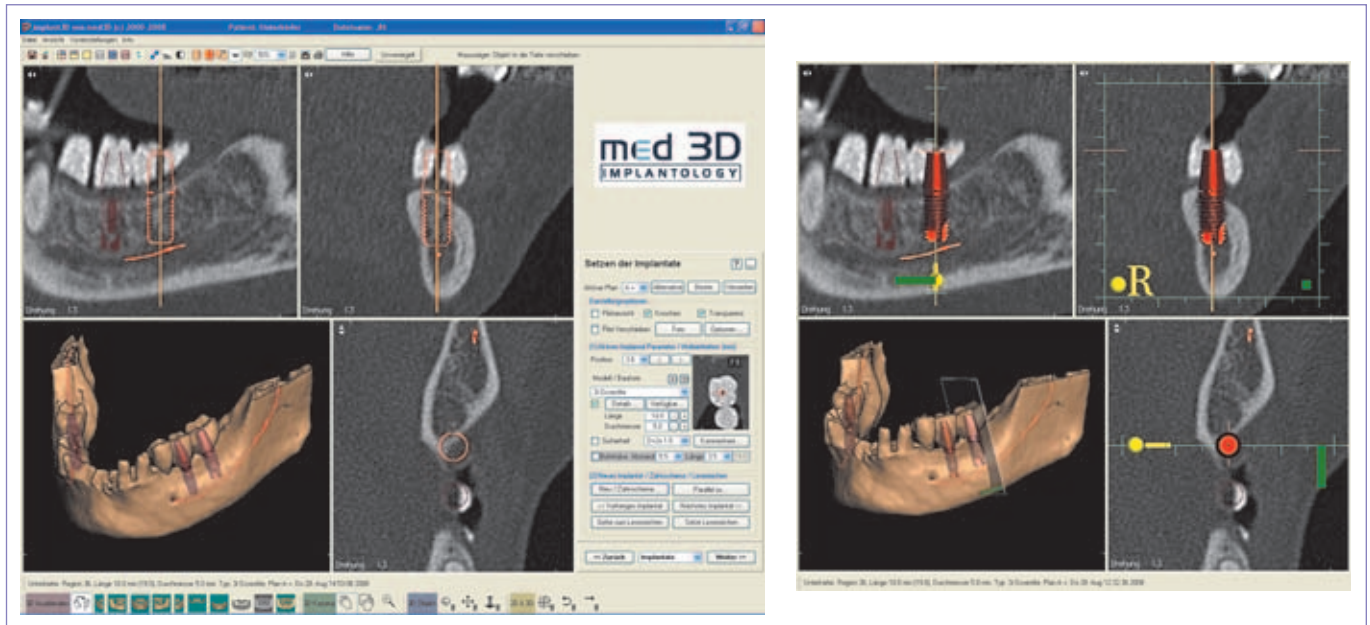


Abb. 5 Der Implantat-Planungsmodus der CeHa imPLANT Software (C. Hafner, Pforzheim).

Sicherheitsmarkierungen eingestellt wurden, können Implantate anhand der sich abbildenden prothetischen Restauration im nächsten Schritt herstellerunabhängig, dreidimensional geplant werden. Ein zusätzlich eingeblendetes, viertes Fenster ermöglicht stets die optimal prothetisch ausgerichtete Positionierung des Implantates anhand der mittig im Verlauf der Zahnachse integrierten Bohrungen in den Bariumsulfat-Zähnen (Abb. 5). Auch hier wird besonderer Wert auf die präzise zahntechnische Vorbereitung und die Kommunikation zwischen Behandler und Zahntechniker während der Planungsphase gelegt. Zur Auffindung des Nervus alveolaris inferior bietet die Software eine Hilfestellung durch die auf Grauwerten basierende Bildung einer Verbindungslinie zwischen dem Foramen mandibulae und dem Foramen mentale. Korrekturen können einfach und zeitsparend durch manuelles Verschieben dieser Linie durchgeführt werden.

Nach Abschluss der Implantatplanung werden die durch die Software ermittelten Daten im Labor auf den Hexapod-Positionierer übertragen (X1, Schick Dental, Schlemmerhofen) (Abb. 6). Hierbei werden sowohl die Implantatachsen als auch die Tiefe der Implantatposition berücksichtigt. Zur Überprüfung der Genauigkeit des Datensatzes muss die an der Kontrollmarkierung zuvor am Bildschirm festgelegte Stelle exakt in der Schiene getroffen werden (Abb. 7). Dies stellt einen wichtigen Kontrollmechanismus dar, mit dem die Genauigkeit des Systems sicher überprüft werden kann. Etwaige Ungenauigkeiten der Röntgenaufnahme, beispielsweise durch Bewegungen des Patienten, können so exakt horizontal und vertikal beschrieben werden, sodass der Behandler bei jedem Patienten eine eindeutige Information über die zu erwartende Genauigkeit der chirurgischen Schiene bekommt. Entsprechend diesem Wert muss sein chirurgisches Vorgehen abgestimmt sein.

Nach den Angaben der Software können mit Hilfe des Hexapod-Positionierers die von den jeweiligen Implantatherstellern angebotenen Führungshülsen (hier GuidedSleeves®,

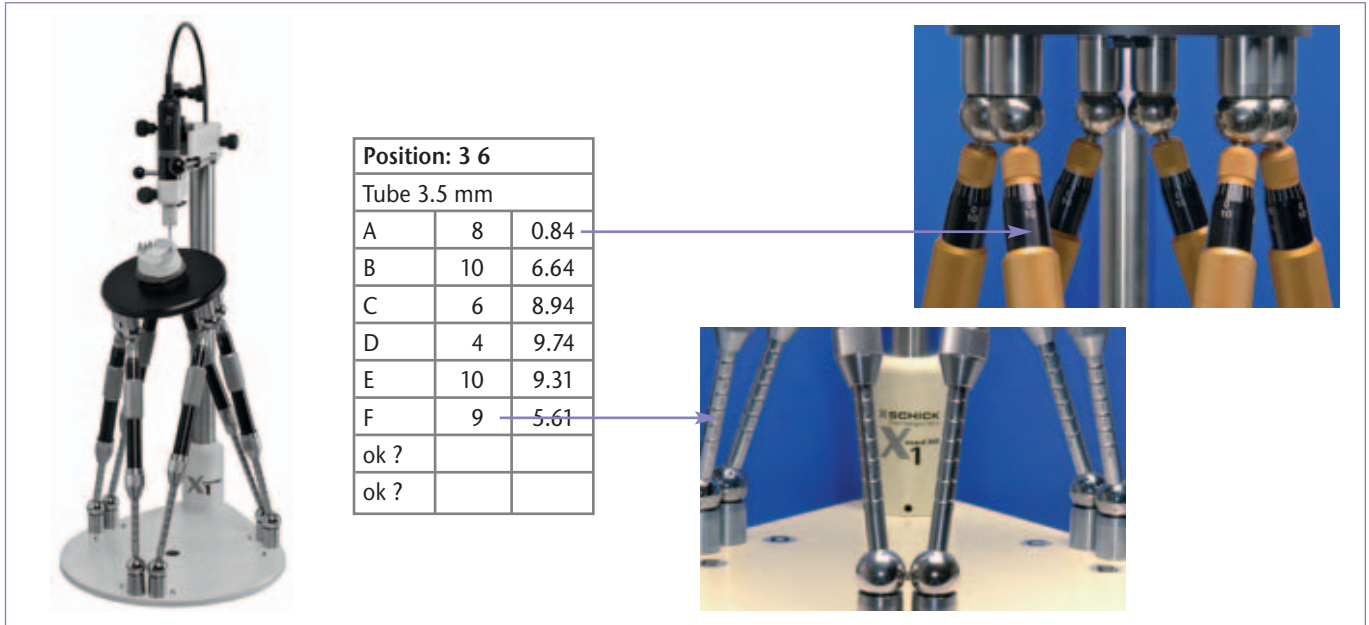


Abb. 6 Die Übertragung der durch die Software errechneten Daten in den Positionierer.

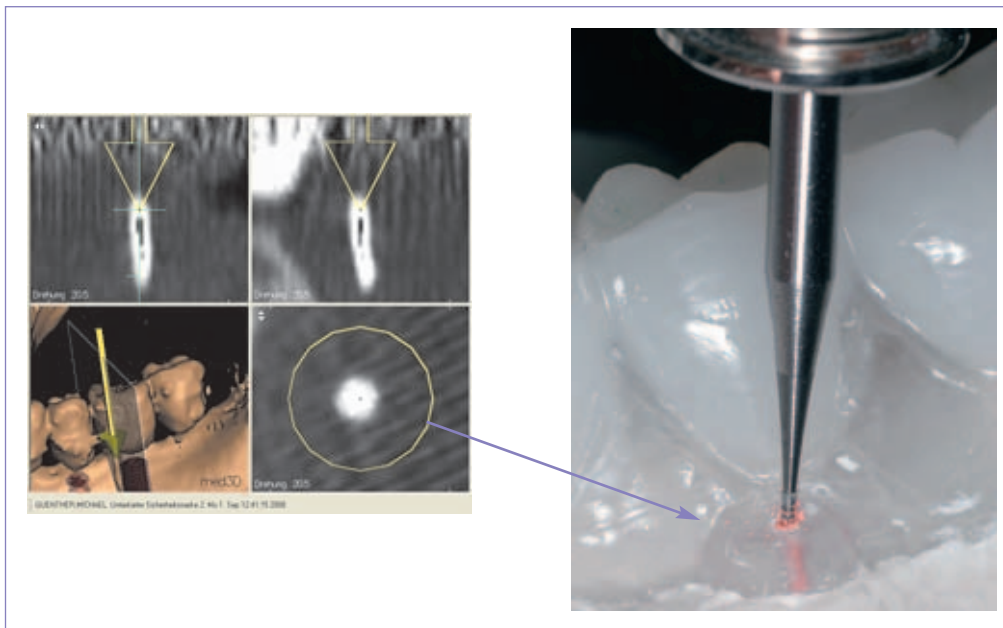


Abb. 7 Der zuvor in der Software punktuell markierte Sicherheitsmarker muss nach dem Einstellen der von der Software ermittelten Werte dreidimensional exakt getroffen werden. Hiermit wird die Genauigkeit des Systems beschrieben.



Abb. 8 Spezielle Führungsstifte ermöglichen die Kontrolle bei der manuellen Einstellung des Positionierers, ob Führungshilfen nicht den Werten entsprechend eingepolymerisiert wurden.



NobelBiocare, Göteborg, Schweden) in die Schiene mit Kaltpolymerisat eingegliedert werden (siehe Übersicht „Workflow“). Die so modifizierte Röntgenschiene kann nun als chirurgische Führungsschiene benutzt werden. Zur Überprüfung der Genauigkeit der gesetzten Hülsen wird die Schiene über den Steckbaustein an einer definierten Stelle über einem Computerausdruck fixiert (Abb. 8). Spezielle Metallstifte müssen das Zentrum der gedruckten Markierung des jeweiligen Implantates treffen. Somit können Positionierungsfehler durch den Zahntechniker ausgeschlossen werden. Bei Bedarf kann zudem jetzt auf einem mit Laboranalogen modifizierten Modell ein passgenauer, provisorischer Zahnersatz vorbereitet und durch wenige Anpassung nach der Implantat-Insertion eingliedert werden.

Die 68-jährige Patientin stellte sich, nach jahrelanger Zahnlosigkeit im linken Unterkiefer mit einer fortgeschrittenen Kieferkammatrophy, mit dem Wunsch nach implantatprothetischer Behandlung vor (Abb. 9a und 9b). Nach ausführlicher funktioneller Vorbehandlung mit Bisshebung über Langzeitprovisorien wurde eine Röntgenschiene zur CeHa imPLANT® Planung hergestellt und ein DVT (Newtom 3G, Newtom AG, Marburg) des Unterkiefers angefertigt (Abb. 10). Die so gewonnenen Daten wurden in der Software, wie in den Abbildungen 2 bis 5 gezeigt, bearbeitet. In regio der Zähne 36, 37 und 46 fand sich ein ausreichendes Volumen zur Implantation mit simultanem Knochenaufbau. Auf

### Falldarstellung



Abb. 9a und 9b Die klinische Ausgangssituation mit ausgeprägter Alveolarkammatrophy im linken Unterkiefer.



Abb. 10 Zur digitalen Volumentomographie eingegliederte Röntgenschiene auf Basis des diagnostischen Set-ups. Die Schiene konnte sicher über die präparierten Stümpfe am Kiefer positioniert werden. Deutlich zu erkennen ist der aufgesetzte größere Legostein, der zur Referenzierung der Software notwendig ist.

Abb. 11 Die durch die Eingliederung von drei Nobel-Guide Hülsen (Nobel Biocare) zur chirurgischen Schiene modifizierte Röntgenschiene in situ.



Abb. 12 Das postoperative Orthopantomogramm.



Abb. 13 VMK-Versorgung des Unterkiefers mit mesialer, implantatgetragener Extensionsbrücke 37-35.

eine Implantation regio 35 wurde aufgrund der anatomischen Nervlage und dem geringen Knochenangebot zugunsten einer implantatgetragenen mesialen Extensionsbrücke verzichtet. Abbildung 11 zeigt die eingegliederte, auf der Restbezaugung verankerte chirurgische Schiene auf Basis der modifizierten Röntgenschiene. Es wurden zur Insertion der 11,5 mm langen Implantate (Nobel Replace, Nobel Biocare) insgesamt drei Führungshülsen von Nobel Biocare integriert. Abbildung 12 zeigt die Implantate unmittelbar nach Insertion im Orthopantomogramm. Die Abbildungen 13a und 13b zeigen die definitive prothetische Versorgung der Patientin im Unterkiefer bei stabilen Weichgewebeverhältnissen.

#### Vorteile der schienen- geführten Implantat- insertion für den Patienten

Für den Patienten ergeben sich durch die geführte Implantation weitere Vorteile: Der Eingriff kann aufgrund der präoperativen Planung und deren intraoperativer Umsetzung minimal-invasiv gehalten werden. Im Falle eines ausreichenden Knochenangebotes oder einer Knochen erhaltenden oder vorbereitenden Maßnahme sowie einer suffizienten Weichgewebssituation kann bei exakt geführter Implantation sogar gänzlich auf eine Lappenbildung verzichtet werden (lappenloser Eingriff), ohne die notwendige Operationssicherheit zu verlieren. Augmentationen können unter Einhaltung der prothetischen Parameter vermieden oder, falls dennoch notwendig, präoperativ genau geplant werden. Postoperative Beschwerden und unerwartete Komplikationen können auf ein Minimum reduziert werden. Ein – auf der Grundlage der im diagnostischen Prozess festgelegten Implantatposition – im Vorfeld der Operation angefertigter, langzeitprovisorischer Zahn-



ersatz kann in der Kombination mit Sofortversorgungskonzepten unmittelbar nach der Operation eingegliedert werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass trotz höherer Kosten mit schienengeführter Implantation ein optimales Therapieergebnis unter einer Steigerung der Qualität der gesamten Behandlung zu erzielen ist. Zentraler Punkt aus zahnärztlicher Sicht bleibt die zuverlässige Möglichkeit der Kontrolle der gesamten Systemgenauigkeit.

Der Autor dankt Herrn ZTM W. Wörner, Freiburg, für die Unterstützung und Anfertigung der Bilder zum Workflow „Schienenherstellung“ sowie Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. J. R. Strub, Ärztlicher Direktor der Abteilung Zahnärztliche Prothetik, Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, für die Unterstützung der letzten Jahre.

1. Garber DA. The esthetic dental implant: letting restoration be the guide. *J Oral Implantol* 1996;22:45-50.
2. Kielhorn J, Schnellbacher K. Treatment planning and immediate restorations: A team approach challenge. *Zahntech Mag* 2005;9:178-192.
3. Köttgen R, Bolz W, Wachtel H, Zuhr O, Hürzeler M. Vermeidung von Augmentation durch Navigation. Eine Fallpräsentation. *Implantologie* 2005;13:397-405.
4. Ludlow JB, Brooks SL, Davies-Ludlow LE, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT units for oral and maxillofacial radiology. 15th International Congress of Dentomaxillofacial Radiology;OP22:53.
5. Marquardt P, Witkowski S, Strub JR. 3D Navigation in der oralen Implantologie. *Eur J Esthet Dent* 2007;2:80-98.
6. Mischkowski RA, Zinser M, Neugebauer J, Kübler AC, Zöller JE. Comparison of static and dynamic computed guidance methods in implantology. *Int J Comput Dent* 2006;9:23-35.
7. Rosenfeld AL, Mandelaris GA, Tariou PH. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 2: Rapid-prototype medical modelling and stereolithographic drilling guides requiring bone exposure. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26:347-353.
8. Rosenfeld AL, Mandelaris GA, Tariou PH. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 3: Stereolithographic drilling guides that do not require bone exposure and the immediate delivery of teeth. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26:493-499.
9. Sarment DP, Al-Shammari K, Kazor CHE. Stereolithographic surgical templates for placement of dental implants in complex cases. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23:287-295.
10. Schulze D, Heiland M, Thurmann H, Adam G. Radiation exposure during midfacial imaging using 4- and 16-slice computed tomography, cone beam computed tomography systems and conventional radiography. *Dentomaxillofacial Radiography* 2004;33:83-86.
11. Van Steenberghe D, Glauser R, Blomback U, Andersson M, Schutyser F, Pettersson A, Wendelhag I. A computed tomographic scan-derived customized surgical template and fixed prosthesis for flapless surgery and immediate loading of implants in fully edentulous maxillae: a prospective multi-center study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2005;7(Suppl 1):111-120.
12. Widman G, Bale JR. Accuracy in computer-aided implant surgery - a review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006;21: 305-313.
13. Witkowski S, Lange R. Stereolithographie als generatives Verfahren in der Zahntechnik. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2003;113:869-878.

Dr. med. dent. Pascal Marquardt  
Christoph-Probst-Weg 10, 20251 Hamburg  
E-Mail: zahnheilkunde@me.com

## Schlussfolgerung

## Danksagung

## Literatur

## Adresse des Verfassers