



Zusammenfassung

Dreidimensionale Röntgendaten des Kiefers wurden in der oralen Implantologie zunächst nur für die Umsetzung von digitalen Planungsdaten in Form der Führung der Pilotbohrung genutzt. Heute werden zur präzisen Übertragung der am Monitor geplanten Implantatposition speziell auf das Implantatsystem abgestimmte Bohrer-Hülsensystemen angeboten. Neben der konventionellen labortechnischen Herstellungsmethode stellen volldigital durch CAD/CAM-Technik oder innovative 3-D-Drucker hergestellte Schienen eine Alternative dar. Derart hergestellte Schienen sind in der Genauigkeit mit konventionellen Schienen vergleichbar, reduzieren jedoch die Komplexität des Behandlungsablaufs.

Indizes

Implantatprothetik, digitale Volumentomografie, DICOM, CAD/CAM, Implantatnavigation, SIC Guided Surgery, Systemdarstellung, Patientenfall

Diagnostik mit Swissmeda und Implantation mit dem SIC-Guided-Surgery-System

Pascal Marquardt

Durch die Entwicklung digital gestützter Diagnostiksysteme wie dem digitalen Volumentomografen (DVT) und der Möglichkeit der Umsetzung in den Operationssituation ist es heute möglich, die beiden zentralen Aspekte – exakt geplante prothetische Ideallösung und anatomische Gegebenheit – zu vereinen. Die generierten Daten werden in

Einleitung

Name des Systems: SIC Guided Surgery – Swissmeda

Name der Software: Swissmeda Planning Solution

Hersteller der Software: Swissmeda AG

Name der Schablontechnik: Offene Schnittstelle, unterschiedliche Verfahren möglich

Hersteller der Schablone (bei Herstellung im Zentrum): Offener Standard, z. B. in zahntechnischem Labor oder in Fräszentrum

Vertrieb durch: SIC invent AG, Basel, und Swissmeda, Zürich, www.swissmeda.com

Hülsen für folgende Implantatsysteme: SIC ace; Software offenes System, alle möglich

Dieses System wird am Markt vertrieben seit: 2010

Die weiteren Anbieter, die dieses System in ähnlicher Form vertreiben: n. a.

NAVIGIERTE ORALE IMPLANTATION

Form von DICOM-Daten (Digital Imaging and Communications in Medicine) zur Darstellung, Analyse und zur späteren Weiterverarbeitung genutzt. So kann bereits vor dem operativen Eingriff das Knochenangebot analysiert und dem Patienten die individuelle Behandlungsplanung anschaulich am Computer demonstriert werden. Bestehende Risiken können ohne chirurgische Intervention diagnostiziert werden. Die erforderliche Behandlung erreicht somit ein Höchstmaß an Vorhersagbarkeit. Ein funktionelles und ästhetisches Setup bildet für alle implantatprothetischen Behandlungen die Basis für die prothetische und chirurgische Rehabilitation des Patienten (Backward Planning).^{1,2} Zur konventionellen Herstellung von Röntgenschiene wird ein mit Bariumsulfat angereicherter Kunststoff verwendet. So kann die zukünftig ideale Zahnposition optimal am Bildschirm dargestellt werden. Um die am Bildschirm ermittelte Position des Implantats in den klinischen Situs zu übertragen, kann zum einen der Zahntechniker dem Implantatsystem entsprechende Führungshülsen auf der Basis eines Datenblatts über einen Hülsenpositionierer in die Röntgen-Diagnostikschiene einarbeiten (Beispiel X1 der Firma Schick, Schwemmerhofen). Die vorhandene und auf Passgenauigkeit überprüfte Röntgen-Diagnostikschiene wird somit in die chirurgische Navigationsschiene überführt. Alternativ können Führungsschienen in Produktionszentren bestellt werden, die auf der Basis der Röntgendaten durch Stereolithografie⁶ vollkommen digital hergestellt werden (Beispiel SimPlant, Materialise, Leuven, Belgien). Beide Methoden setzen allerdings die Herstellung einer Diagnostikschiene auf Basis einer prothetischen Zahnaufstellung in Spezialkunststoff voraus.³

Aktuell sind für viele Implantatsysteme von den Herstellern auf das System abgestimmte Bohrer-Hülsen-Systeme erhältlich, die durch spezielle, in die Schiene eingebaute Führungshülsen und angepasste Bohrer eine exakte dreidimensionale Übertragung der geplanten Implantatposition in den Kiefer erlauben. Neben der Genauigkeit der Röntgenaufnahme und einem exakt reproduzierbaren Sitz der Diagnostik- und Führungsschiene setzt dieses Verfahren besondere Ansprüche an die Passung und Stabilität der Führungsschienen⁴. Schon geringste Abweichungen an der Schienenposition können zu erheblichen Differenzen im Vergleich zur Planung am Monitor führen. Dies führt zu nicht unerheblichem technischem wie auch finanziellem Aufwand. Bei zunehmender Komplexität des Patientenfalls steht dieser im Vergleich zum Gesamtaufwand in einer guten Relation. Bei Einzelzahnimplantaten oder wenigen Implantaten stellt sich allerdings oft die Frage der Berechtigung eines solchen Aufwands.

Der folgende Beitrag stellt eine neue Methode dar, mit der sowohl komplexe Behandlungsfälle in gewohnter Technik als auch weniger aufwendige Situationen mit einer neuartigen, volldigital hergestellten Schiene behandelt werden können. Diese Schienen können durch die Fusion von Scan-Daten der Gipsmodelloberfläche (STL-Daten) und Röntgendaten (DICOM-Daten) mit bestehenden CAD/CAM-Systemen gefräst oder mit neuartigen Druckern hochpräzise dreidimensional ausgedruckt werden. Das für die Operation angewandte chirurgische Instrumentarium (Guided Surgery Kit, SIC invent AG, Basel, Schweiz) zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität sowie durch seine Kompaktheit aus.

Workflow und Falldarstellung

Die Abbildungen 1 bis 3 zeigen die klinische Ausgangssituation einer 49-jährigen Patientin. Nach der Extraktion der parodontal nicht zu erhaltenden Zähne (Panoramaaufnahme, Abb. 4) und Ausheilung wurden umfangreiche Knochenaugmentati-



Abb. 1 bis 4 Die klinische und radiologische Ausgangssituation der 49-jährigen Patientin.

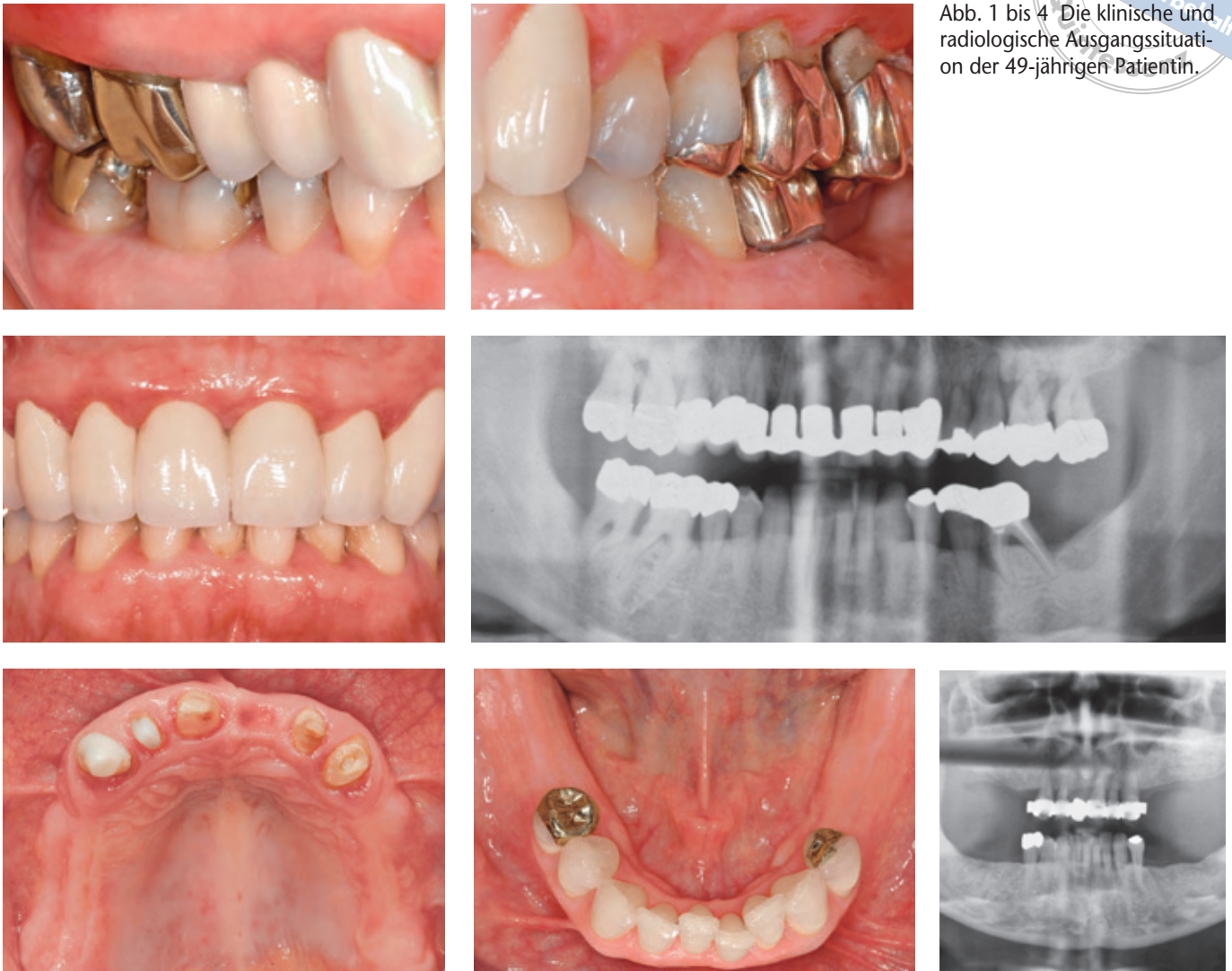


Abb. 5 bis 7 Die klinische und radiologische Ausgangssituation nach Zahnextraktion und Sinusbodenelevation beidseits.

onen mit Sinusbodenelevation im Oberkiefer beidseits durchgeführt (Abb. 5). Bisslage und Kaufunktion wurden mit einer abnehmbaren Interimsversorgung sichergestellt. Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die klinische Ausgangssituation vor Implantation mit guten knöchernen und gingivalen Verhältnissen. Auf der Basis der ästhetisch und funktionell angepassten Interimsversorgung wurde für Ober- und im Unterkiefer ein Setup der zu ersetzenden Zähne durch den Zahntechnikermeister angefertigt (Abb. 8 und 9). Das Setup der Oberkieferzähne wurde in röntgenopakem Kunststoff umgesetzt.

Auf Basis des diagnostischen Setups wird eine Röntgenschiene für den Oberkiefer hergestellt (Abb. 10). 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. Somit können Bewegun-

*Manuell gefertigte
Diagnostikschiene*



Abb. 8 Die Modellsituation und Wax-up/Set-up vor Behandlungsbeginn.



Abb. 9 Das Wax-up und Set-up des Ober- und Unterkiefers als Grundlage des Backwardplannings.



Abb. 10 Die fertige Diagnostikschiene mit radioopaken Zähnen und Steckbaustein zur Referenzierung.

gen des Patienten oder Ungenauigkeiten bei der Referenzierung diagnostiziert werden. Mit der in einer sicher reproduzierbaren Position verankerten Schiene wird der dreidimensionale Datensatz mittels Computertomogramm (CT) angefertigt. Hierzu werden Sichtfenster im Kunststoff über den Zähnen ausgespart.

Virtuelle Implantatplanung im Team

Der im DICOM-Format vorliegende Datensatz wird nun in die Software (Swissmeda, Swissmeda AG, Zürich, Schweiz) eingelesen (Abb. 11). Zum einfachen Austausch und zur Abstimmung zwischen Zahnarzt, Zahntechniker und Oralchirurg können die Daten auf einen zentralen Server geladen werden. Ähnlich wie bei den sozialen Internet-Netzwerken können diese Daten nun von Kollegen angesehen und/oder bearbeitet werden. Dazu müssen die Daten für weitere Nutzer vom Behandler freigegeben werden. Veränderte Planungen können als unterschiedliche Versionen gespeichert und bearbeitet werden, sodass immer auf die ursprüngliche Planung zurückgegriffen werden kann. Durch die Abspeicherung auf einem zentralen Server ist die für das positive Behandlungsergebnis essenzielle Teamarbeit aller Beteiligten einfach, unkompliziert und schnell. Es müssen keine Daten-CDs verschickt werden und Planungen können über das Internet weltweit und unabhängig vom Herstellungs- oder Operationsort bearbeitet werden.

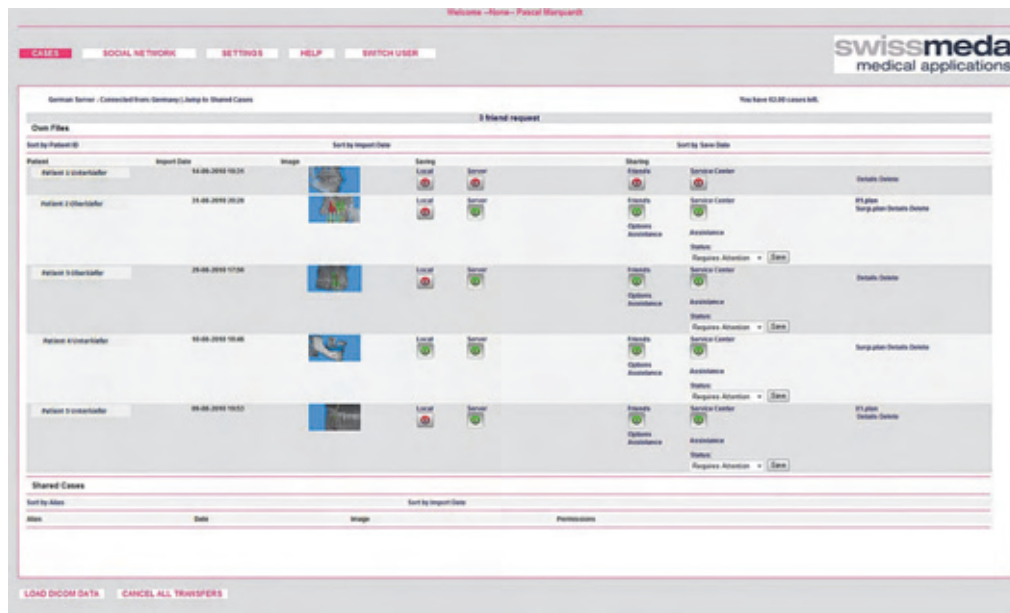


Abb. 11 Die Fallauswahl in der Swissmeda-Software ermöglicht – gleich einem sozialen Internetnetzwerk – über einen zentralen Server einen einfachen Datenaustausch zwischen Techniker, Chirurg und Prothetiker.

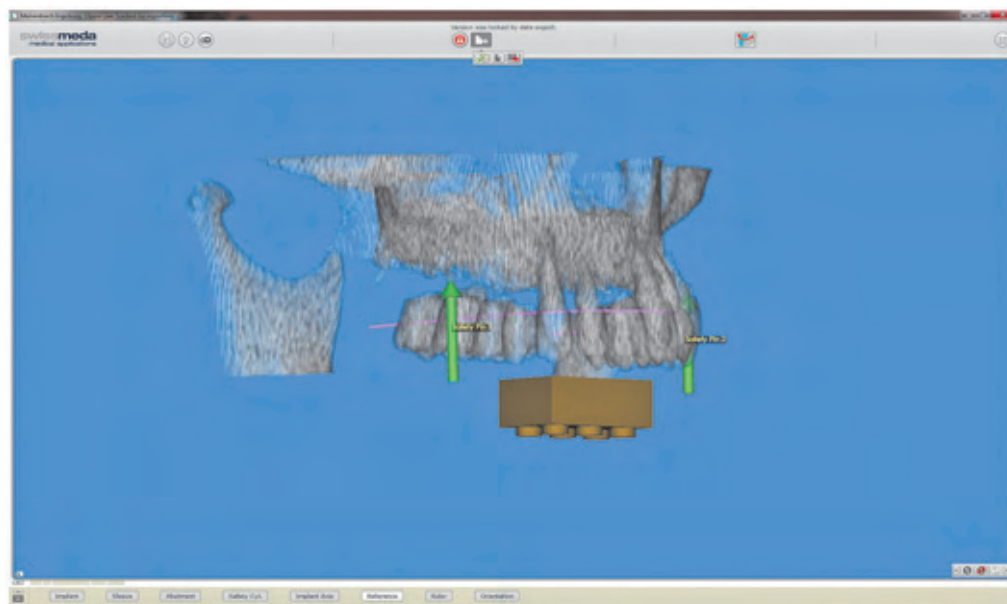


Abb. 12 Die Referenzierung der Software kann optional auch über einen Steckbaustein erfolgen. Ebenso werden Sicherheitsmarker zur Überprüfung der Genauigkeit der Röntgenaufnahme markiert.

Eine Trennung der Daten vom Patientennamen garantiert die Datensicherheit und die Persönlichkeitsrechte des Patienten.

Zur Herstellung der laborgefertigten Navigationsschiene erfolgt die Referenzierung – wie bei anderen Systemen – über einen Steckbaustein. Die Software legt hier weitgehend automatisch eine digitale Maske über den eingescannten Steckbaustein (Abb. 12). Auch die Markierung des Nervus alv. inf. im Unterkiefer wird von der Software unterstützt und ist einfach durchzuführen, wenn die Bilddaten eine ausreichende Qualität haben. Alle Parameter können aber jederzeit einfach per Hand korrigiert werden. Dies ist wichtig, da besonders hochauflösende Volumentomografien sich zwar einerseits durch geringere Strahlenbelastung und höhere Detailschärfe im Vergleich zu konventi-

Abb. 13 Die fertige Implantatplanung im Oberkiefer. Eine Implantation regio 24 soll unter klinischen Umständen nochmals abgewogen werden.

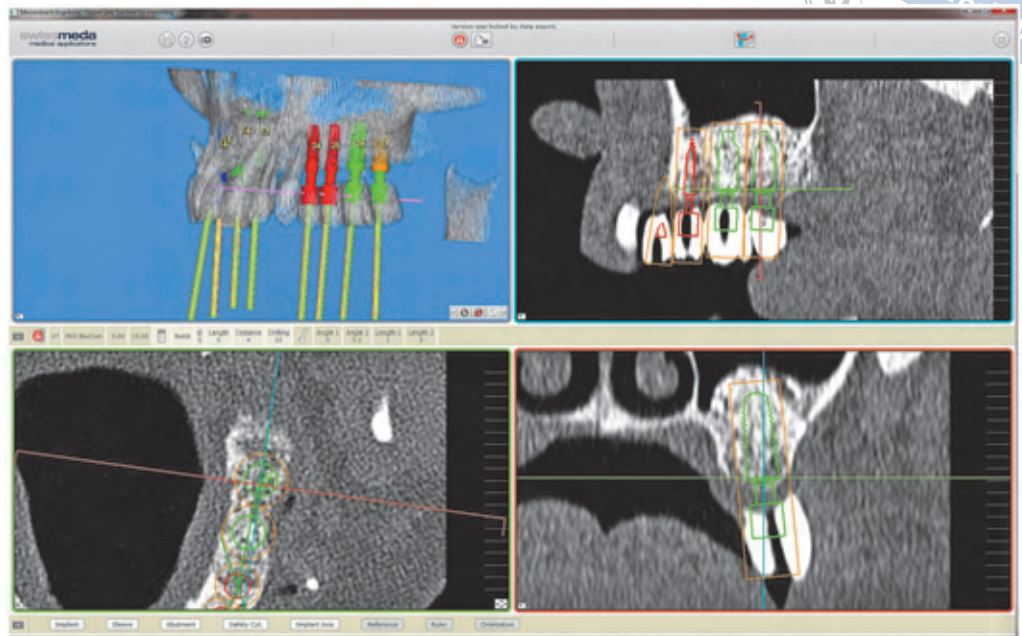


Abb. 14 Die Hülsen werden mit einem Positionierer (X1, Schick Dental, Schemmerhofen) positioniert.

onellen Computertomografien auszeichnen, jedoch andererseits deutlich ärmer an Kontrast sind und damit auch höhere Anforderungen an Automatisierungsprozesse in der Softwareprogrammierung stellen.

Nach Validation der automatischen Nervdetektion können Implantate entsprechend der prothetischen Zahn-Position und der knöchernen Verhältnisse geplant werden. Hierzu steht eine umfangreiche Implantat-Bibliothek zur Verfügung. Auch sind fast alle gängigen Bohrer-Hülsensysteme der Implantathersteller bereits voreingestellt, sodass keine Modifikationen am Hülsenabstand zum Implantat oder am Durchmesser erfolgen müssen und somit Fehler vermieden werden können. Nach Abschluss der Implantatplanung (Abb. 13) ermittelt die Software die für den Hülsenpositionierer (Abb. 14) notwendigen Einstellungen. Im zahntechnischen Labor können dann die entsprechenden Hülsen (hier SIC Guided Surgery Sleeves, SICinvent AG) eingebaut werden.

Digitale Schienenherstellung im Unterkiefer

Zur Herstellung einer Schiene auf digitalem Weg wird ebenfalls das diagnostische Setup benötigt. Dieses wird aber nicht wie im oben beschriebenen, konventionellen Weg manuell in eine Schablone eingearbeitet. Mit einem systemoffenen Scanner, der z. B. für die Herstellung von CAD/CAM-gefertigtem Zahnersatz genutzt wird, wird ein dreidimensionales Abbild der Oberfläche erzeugt. Es können alle Scanner genutzt werden, die einen offenen STL-Datensatz (SurfaceTesselationLanguage) erzeugen (beispielsweise 3shape, dental wings, solutionix, hier: Imetric AG, Courgenay, Schweiz). Die Daten können auch mit einem Intraoralscanner erfasst werden. Weil die Genauigkeit digitaler optischer Abformungen des gesamten Kiefers noch schwer einschätzbar ist, wurde im vorliegenden Fall das Gipsmodell jeweils mit und ohne Setup eingescannt (Abb. 15a und 15b).

Zum Einsatz bei Schatlücken oder kleinen Freiendsituationen wird hierzu in Zukunft auch ein dreidimensionaler digitaler Zahndatensatz zur Verfügung stehen, der die Herstellung volldigitaler Zahnaufstellungen ermöglicht. Dies wird zu einer weiteren, deut-

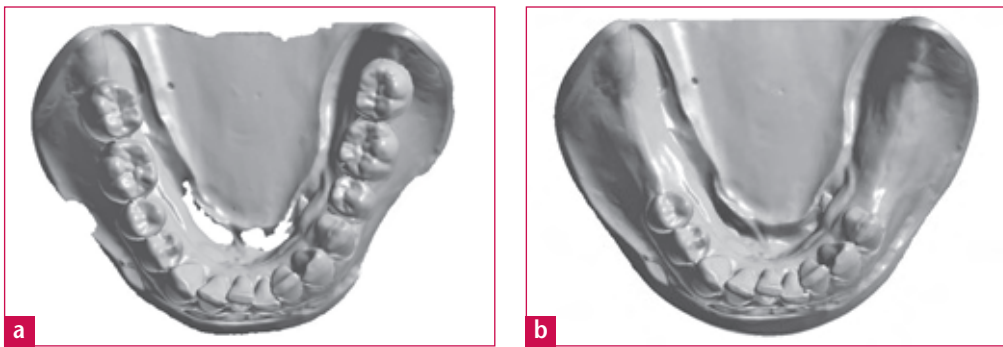


Abb. 15a und 15b Um eine exakte Wiedergabe der Gingivaoberfläche und des abnehmbaren Set-ups im Unterkiefer zu erreichen, wurde jeweils ein Oberflächenscan durchgeführt und in Form von STL-Daten in die Swissmeda-Software importiert.

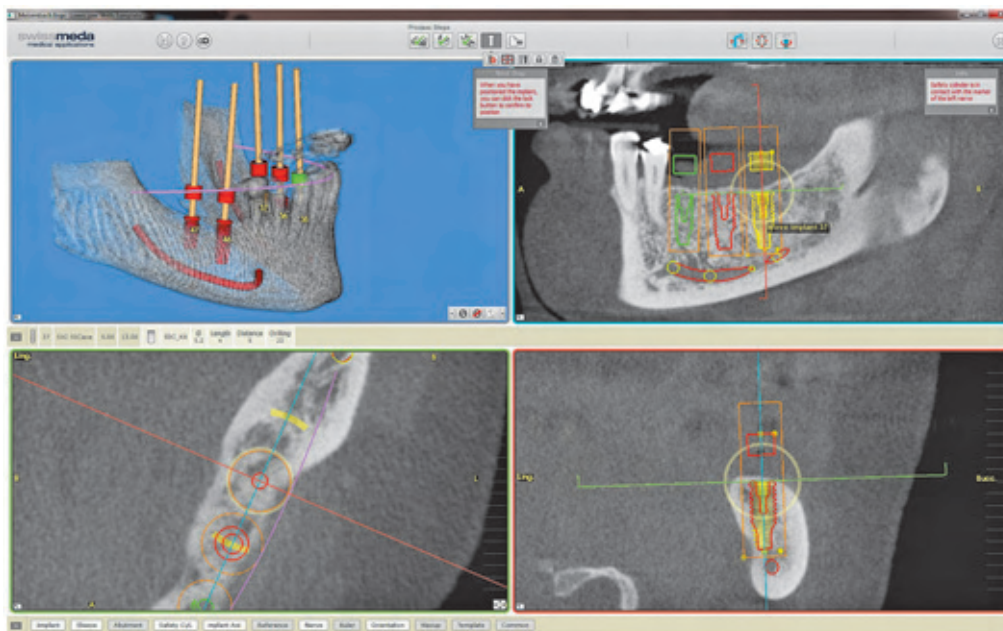


Abb. 16 Die fertige Planung der fünf Implantate im Unterkiefer.

lichen Prozessvereinfachung führen. Nach dem Einlesen der Röntgendaten in die Software werden die radiologischen Datensätze mit den Daten der Modelloberfläche durch das Programm überlagert. Somit steht dem Anwender während der Implantatplanung das Setup als Leitfaden zur Bestimmung der Implantatposition am Bildschirm zur Verfügung.

Dies sparte im vorliegenden Fall im Vorfeld der Planung die aufwändige Herstellung einer Röntgendiagnostikschiene mit radioopaken Zähnen. Auch können Missverständnisse und Fehler bei der Eingliederung der Schienen in der radiologischen Praxis vermieden werden. Jedes dreidimensionale Röntgenbild mit oder ohne Schiene kann mit dem System zur Planung und zur Umsetzung der Planung herangezogen werden. Voraussetzungen sind eine gute Auflösung und idealerweise wenige Bildartefakte. Bis jetzt erhältliche konventionelle, stereolithografisch hergestellte Schienen, die nur auf Basis des radiologischen Datensatzes hergestellt werden, weisen speziell bei vorhandener Restbeziehung stets eine mangelhafte Passung auf. Dies muss manuell korrigiert werden und führt damit zwangsläufig zu Ungenauigkeiten. Nach Abschluss der virtuellen Planung (Abb. 16 und 17) werden die Daten an eines der SwissMeda-Planungszentren

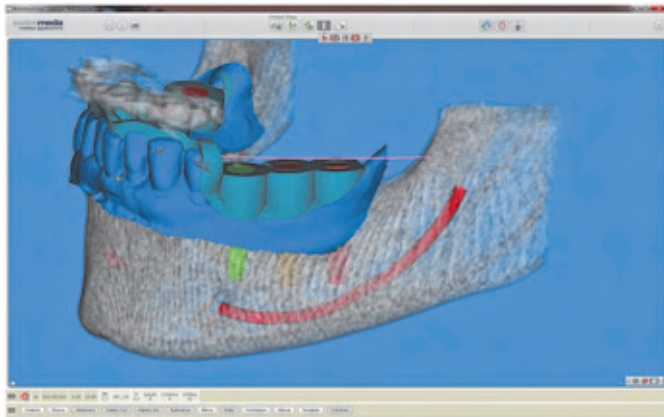


Abb. 17 Der digitale Entwurf der Führungsschiene kann manuell weiter modifiziert werden. Zur Verstärkung im posterioren Bereich wurde ein Querbalken integriert.



Abb. 18 Die dreidimensional gedruckte Schiene auf dem Modell.

Abb. 19a und 19b Da die gedruckte Führungsschiene auf präzisen Daten eines Oberflächen-CAD/CAM-Scanners basiert, kann eine ausgezeichnete Passung erreicht werden.



übermittelt. Dort kann – je nach Notwendigkeit – noch Einfluss auf die Gestaltung der chirurgischen Führungsschiene genommen werden.

In dem beschriebenen Fall wurde zur Verstärkung der beiden Freierden der nur anterior bezahnten Patientin ein Stabilitätsbogen in das Schienendesign integriert. Denkbar wäre auch eine linguale Verstärkung gewesen. Hier kann bei der virtuellen Dimensionierung der Schiene individuell auf die Situation eingegangen werden. Um einen entsprechenden Halt der Schiene an den Zähnen zu erreichen, wird die Schiene leicht über den prothetischen Äquator des Zahnkranzes konstruiert. Im vorliegenden Fall musste aufgrund unter sich gehender Stellen ganz auf eine Abdeckung der Unterkiefer-Frontzähne verzichtet werden. Die Abbildungen 18 und 19 zeigen die fertig gedruckte Schiene.

Anhand integrierter Sichtfenster oder Aussparungen kann jederzeit der exakte Sitz der Schienen im Patientenmund überprüft werden. Das System gibt nun die Herstellungsdaten für die Schiene in einem Standardformat (STL-Datensatz) aus. Die Navigationsschiene kann in einem beliebigen Produktionszentrum über CAD/CAM oder im Rapid-Prototyping-Verfahren hochpräzise dreidimensional gedruckt oder gefräst werden. Die auf das System abgestimmten Bohrhülsen werden digital integriert, sodass diese Art von Schienen ohne Metallhülsen auskommt. Die Führungslöffel der Bohrer der



Abb. 20 Die Führungshülsen können bei der volldigitalen Herstellung der Schiene dem Implantatsystem entsprechend angepasst werden, sodass die Führungslöffel direkt in die Schiene gehalten werden.

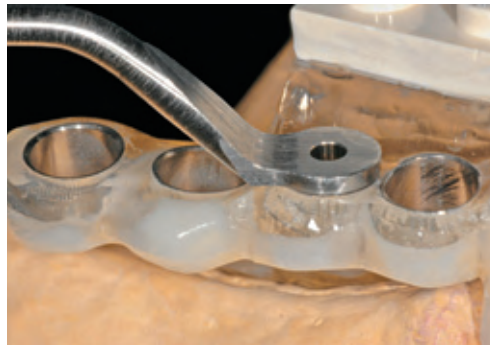


Abb. 21 Bei der konventionellen Schienenherstellung durch den Zahntechniker werden manuell die SIC-Führungshülsen integriert.

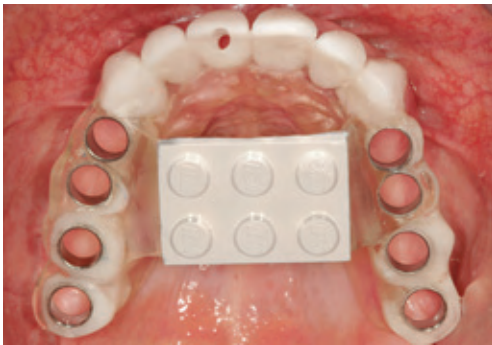


Abb. 22 Die Oberkieferschiene wird an der anterioren Restbeziehung fixiert und auf Passung überprüft.

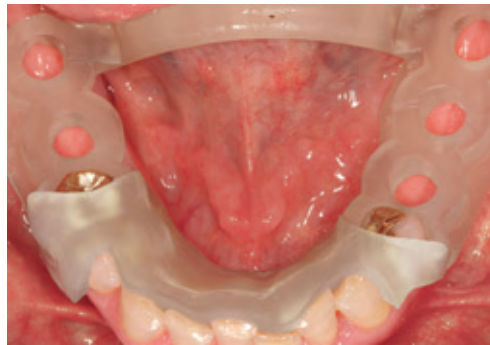


Abb. 23 Der exakte Sitz der gedruckten Schiene kann an den Frontzähnen überprüft werden. Durch die Inklination der Zähne konnte die Schiene nicht weiter nach anterior über die Zähne hinweg ausgedehnt werden.

Guided-Surgery-Kits sitzen mit einer sehr guten Passung in den Kunststoffhülsen, die der Passung in Metallhülsen vergleichbar ist (Abb. 20 und 21). Falls gewünscht, können jedoch auch Metallhülsen manuell in die Schiene integriert werden.

Zur stabilen festsitzenden Versorgung der Patientin sind im rechten und linken Oberkiefer jeweils drei Implantate (SICace) geplant (Abb. 22), im linken und im rechten Unterkiefer jeweils zwei Implantate (Abb. 23). Ebenso wurde an Position 24 eine Führungshülse integriert, um die klinischen Bedingungen des endo-parodontalen Defekts an Zahn 23 abzuwarten. Klinisch musste festgestellt werden, dass die Erhaltung dieses Zahns über die provisorische Phase hinaus nicht indiziert und eine Implantation unter der prothetischen Vorgabe nicht möglich ist. Nach Osseointegration der gesetzten Implantate ist ein weiteres Implantat regio 23 geplant.

Das verwendete chirurgische Instrumentarium (SIC Guided Surgery Tray) zeichnet sich vor allem durch ein Höchstmaß an Kompaktheit aus, ohne eine notwendige Flexibilität während der Operation einzuschränken (Abb. 24 bis 27). Für den Stan-

Operation mit dem
 SIC-Guided-Surgery-
 Instrumentarium

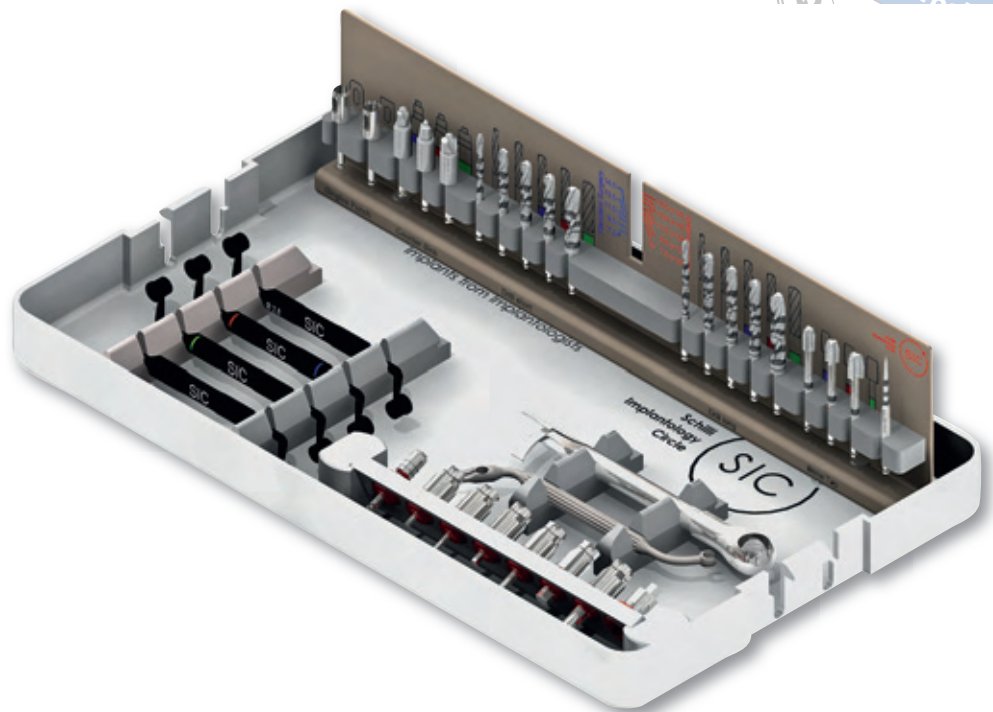


Abb. 24 Das für die Implantatinsertion verwendete SIC Guided Surgery Kit. Es kann softwareunabhängig und flexibel eingesetzt werden.

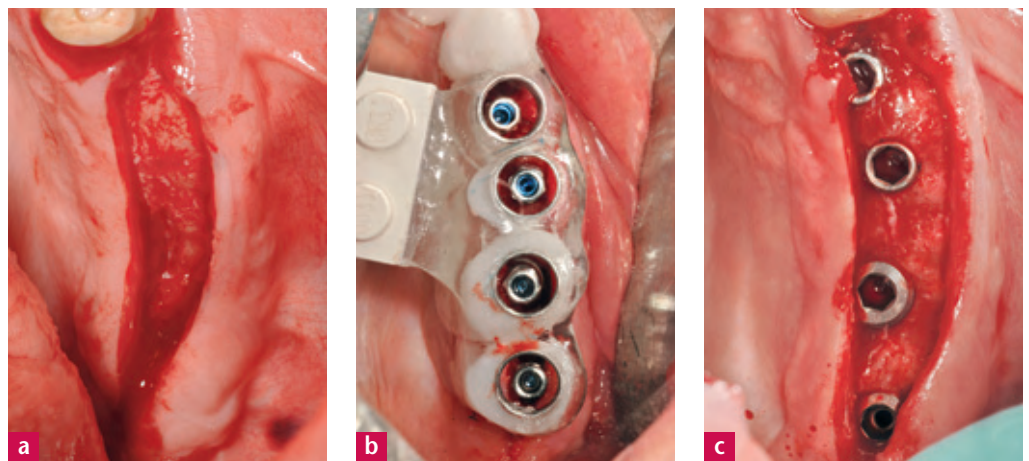


Abb. 25 Die minimale Lappenbildung ohne vertikale Inzision im Oberkiefer ermöglichte eine hochpräzise Insertion der Implantate durch die Führungshülsen an die im Computer geplante Position.

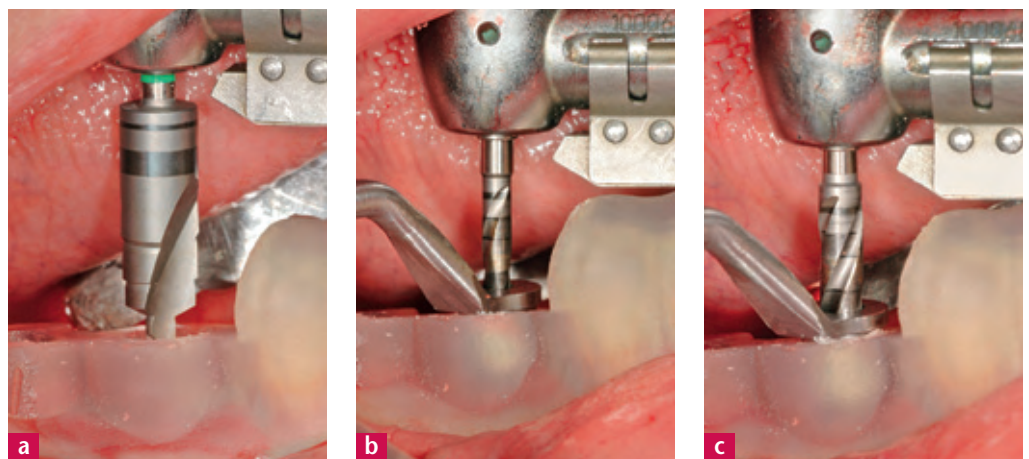


Abb. 26 Nach der Überprüfung der initialen Bohrung mit dem Start-Bohrer kann eine dem Knochen angepasste krestale Erweiterung in zwei Stufen durchgeführt werden, bevor die weitere Aufbereitung in den gewohnten Implantatdurchmessern erfolgt.

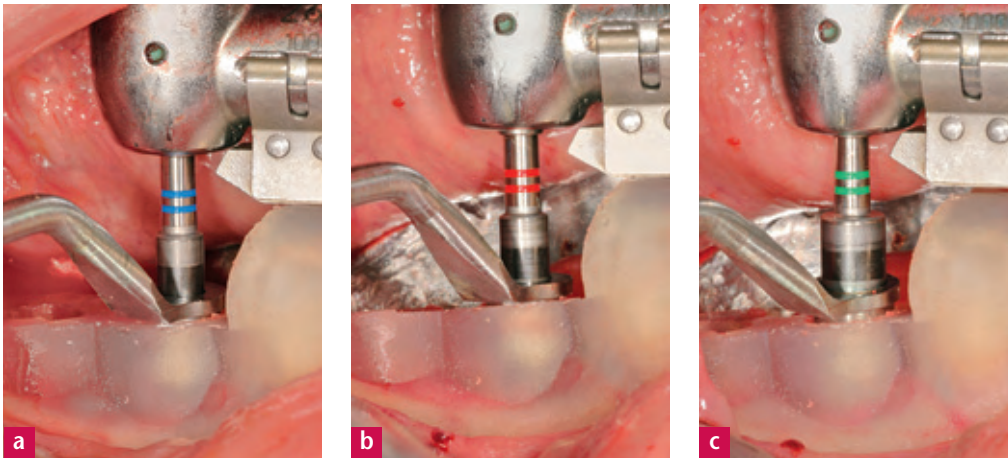


Abb. 27 Anhand der Farbko-
dierung wird der Implantat-
durchmesser entsprechend
aufbereitet.

darf es auch sein, dass Hülsen mit einem Durchmesser von 5,2 mm zur Verfügung stehen. Alle Implantatdurchmesser können damit durch die Schiene aufbereitet und geführt inseriert werden. Zur Anwendung bei sehr schmalen Einzelzahnücken steht zudem noch eine schmale „S“-Hülse mit einem Außendurchmesser von 4 mm zur Verfügung, die eine geführte Aufbereitung des 3,4-mm-Implantats ermöglicht. Der auf die Standardhülse angepasste Startbohrer markiert die zentrale Position des zukünftigen Implantats. Nach dieser etwa 2 mm tiefen Markierung sollte grundsätzlich eine Überprüfung der Implantatposition im Mund ohne Führungsschiene erfolgen, um eine Fehlpositionierung zu vermeiden. So können Abweichungen aufgrund einer falsch eingegliederten Schiene, ein ungenaues oder verwackeltes Röntgenbild oder eine falsche digitale Planung jetzt erkannt und manuell korrigiert werden. Nach positiver Kontrolle wird die Aufbereitung mit dem Startbohrer weitergeführt. Im zweiten Teil dieses Instruments sind zwei verschiedene Versenker eingearbeitet, die, je nach Knochenqualität, unterschiedlich tief genutzt werden können. Die weitere Aufbereitung des Implantatbetts erfolgt nach dem konventionellen Bohrprotokoll des Implantatherstellers. Ein auf dieses System abgestimmtes Set an Führungsöffeln mit Handgriff ermöglicht eine komplette Führung aller zur weiteren Aufbereitung des Implantatbetts notwendigen Bohrer sowie des Gewindeschneiders. Um auch im posterioren Bereich trotz der notwendigen Überlänge der Bohrer ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erreichen, wurden zwei unterschiedliche Bohrersequenzen in das Set integriert. Im Verhältnis sehr kurze Bohrer ermöglichen eine Aufbreitung im posterioren Bereich auch bei vorhandener Gegenbezahnung. Um auch lange Implantate bei ausreichendem vertikalem Platzangebot geführt aufbereiten zu können, ermöglicht die zweite Serie an Bohrern die Aufbereitung bis 14,5 mm. Alle Bohr-Instrumente sind zudem mit einer zweiten, apikalen Standard-Längenmarkierung ausgestattet, sodass stets auch eine visuelle Tiefenkontrolle am Knochen ohne Schiene erfolgen kann. Bewusst wurde bei der Entwicklung des Sets auf feste Bohrerstopps verzichtet. So stellt die vertikale Endposition eines Implantats grundsätzlich die am schwierigsten digital zu planende Variable der Implantatpositionierung dar. Gerade im Fall einer zu erwartenden Resilienz der Schiene in der Freundsituation kann so der Vorteil genutzt werden, bei genügend Abstand zum Alveolarnerv eine etwas tiefere Präparation des Implantatbetts durchführen zu

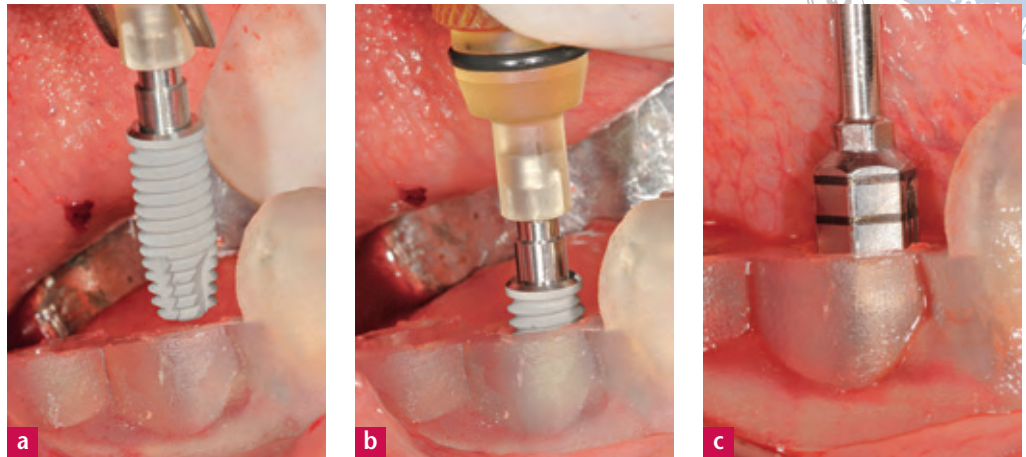


Abb. 28 Die Insertion kann zunächst manuell mit dem Einbringer erfolgen, dann auch mit dem entsprechenden maschinellen Führungsinstrument.

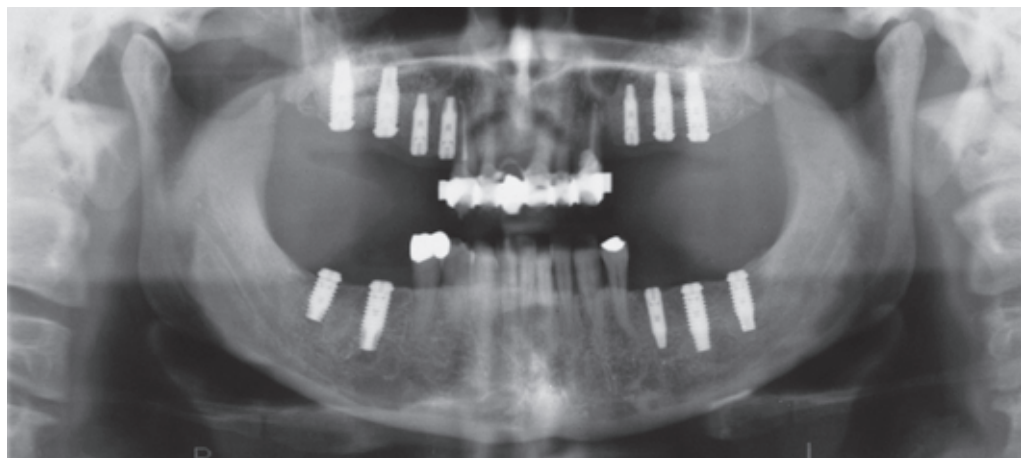


Abb. 29 Die postoperative Panoramaschichtaufnahme.

können. Bei der Anwendung eines parallelen Implantats kann so die Bohr- und Eindrehtiefe exakt visuell überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden, ohne einen Verlust der Primärstabilität zu riskieren. Dies ist ein entscheidender Vorteil paralleler Implantate und gibt die für die erfolgreiche Integration des Behandlungskonzepts „Guided Surgery“ notwendige Flexibilität.

Die Einbringung der Implantate erfolgt im ersten Schritt gewohnt manuell mit dem Kunststoff-Einbringer, der in die Verpackung integriert ist (Abb. 28). Nach erreichter Primärstabilität kann das Eindrehen mit dem Implantatmotor oder der Handratsche mit dem Einbringinstrument fortgesetzt werden. Die angebrachte Markierung zeigt sicher die vertikale Implantatpositionierung. Die Abbildung 29 zeigt die postoperative Panoramascichtaufnahme mit acht SIC ace Implantaten und zwei SIC max Implantaten (SIC invent).

Diskussion Der vorliegende Fall konnte durch die Anwendung des beschriebenen Systems die Vorteile einer digitalen Planung und deren Umsetzung zeigen. Neben der prothetisch korrekten Positionierung der Implantate, deutlich verkürzter Behandlungszeit, einem minimalinvasiven Lappendesign und damit deutlich geringerer postoperativer Beschwerden zeigte sich ein Höchstmaß an Vorhersagbarkeit des Eingriffs.



Um auf die zwangsweise entstehenden Resilienzen von Navigationsschienen bei anteriorer Restbezahnung in der Operation reagieren zu können, ist ein flexibles Chirurgieinstrumentarium, wie das beschriebene, mit dem jederzeit auch ohne Schiene die Aufbereitungstiefe kontrolliert werden kann, sehr von Nutzen. Ein genügend großer Sicherheitsabstand zu anatomisch relevanten Strukturen muss gewahrt werden. Schneider et al.⁵ konnten 2009 in einem systematischen Review zeigen, dass die bis dahin beschriebene Genauigkeit der Systeme im Durchschnitt bei 1,07 mm beim Eintrittspunkt bis zu 1,63 mm an der Implantatspitze lag, womit sich eine deutliche Verbesserung gegenüber der freien Implantatinsertion ergab. Bis auf ein System standen diesem Review jedoch noch keine Daten über die Genauigkeit der jetzt erhältlichen Instrumentarien zur Verfügung, die eine Führung der gesamten Implantataufbereitung ermöglichen und dadurch eine erhöhte Genauigkeit versprechen. Die vollständig geführte Implantatinsertion steigert allerdings auch die Ansprüche an die Führungsschiene. Diese muss stabil an den Restzähnen und der Gingiva abgestützt, sehr verwindungssteif und reproduzierbar in ihrer Position im Mund sein. Dies macht die Herstellung im zahntechnischen Labor und die darauf folgende manuelle Integration der Führungshülsen jedoch sehr aufwendig.

Hier bietet der voll-digitale Herstellungsprozess auf der Basis fusionierter Oberflächen- und Röntgendaten den Ansatz – auch in Kombination mit digitalen Zahngeometrie-Datenbanken, optischer Abdrucknahme und dreidimensionaler Schienenherstellung via 3-D-Drucker oder CAD/CAM – die Vorteile einer schienengeführten 3-D-Navigation dentaler Implantate mit wesentlich geringerem Aufwand und zur Optimierung der Patientenbehandlung in Zukunft auf breiter Basis nutzen zu können.

Der Autor bedankt sich für Unterstützung bei diesem Beitrag bei Herrn Dipl.-Ing. Florian C. Schober (Oberassistent, Zahnklinik Zürich) sowie bei Herrn ZTM Christoph Buhl, Heppenheim, und Dr. Frank Spiegelberg, Frankfurt, für die Unterstützung, Vorbereitung und Durchführung der Patientenbehandlung.

Danksagung

1. Garber DA. The esthetic dental implant: letting restoration be the guide.: J Oral Implantol 1996;22:45-50.
2. Köttgen R, Bolz W, Wachtel H, Zuhr O, Hürzeler M. Vermeidung von Augmentation durch Navigation. Eine Fallpräsentation. Implantologie 2005;13:397-405.
3. Marquardt P, Witkowski S, Strub JR. 3D Navigation in der oralen Implantologie. Eur J Esthet Dent 2007;2:80-98.
4. Marquardt P. Prothetisch basierte, schienengeführte 3D-Navigation in der oralen Implantologie. Quintessenz Zahntech 2008;34:1224-1234.
5. Schneider D, Marquardt P, Zwahlen M, Jung RE. A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template-based implant dentistry. Clin Oral Impl Res (Suppl. 4) 2009;73-86.
6. Witkowski S, Lange R. Stereolithographie als generatives Verfahren in der Zahntechnik. Schweiz Monatsschr Zahnmed 2003;113:869-878.

Literatur

Dr. Pascal Marquardt, Zahnärzte Marienburg
Parkstraße 21, 50968 Köln
E-Mail: p.marquardt@zahnaerzte-marienburg.de

Adresse des Verfassers