

# Digitales Vorgehen in der Implantatchirurgie

## Effektive Unterstützung im Behandlungsablauf

Ein Beitrag von Priv.-Doz. Dr. Jörg Neugebauer<sup>1,2</sup>, Ztm. Stephan Adler<sup>1</sup>, Siegfried Weiß<sup>1</sup>, Dr. Steffen Kistler<sup>1</sup> und Dr. Frank Kistler<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Landsberg am Lech, <sup>2</sup>Köln

Durch die 3-D-Diagnostik mittels digitaler Volumetomografie (DVT) steht eine Bildgebung auf Basis ionisierender Strahlung zur Verfügung, die eine metrisch genaue Analyse des vorhandenen Knochenangebots ermöglicht [10]. Aufgrund der dosisoptimierten Hochkontrastdarstellung können die Weichgewebestrukturen aber nicht differenziert dargestellt werden. Um diesen Nachteil der Bildgebung auszugleichen, wurden verschiedene Verfahren entwickelt, um die radiologischen Daten für die Behandlungsplanung, die Operationsvorbereitung oder die genaue Positionierung der Implantate unter prothetischen Aspekten zu nutzen [17].

Bei der klassischen Behandlungsplanung im Bereich der Augmentations- und Implantatchirurgie zeigt die 2-D-Bildgebung Einschränkungen, da eine exakte räumliche Orientierung nicht gegeben ist, so dass eine genaue Operationsvorbereitung zusätzliche Hilfsmittel erfordert [9]. Diese Verfahren sind in der Regel kosten- und zeitintensiv. Beim sogenannten Bone Mapping wird die Dicke der Schleimhaut durch feine Einstiche bestimmt. Dieses Vorgehen wird heute aber aufgrund des invasiven Vorgehens vom Patienten nicht mehr akzeptiert.

## 3-D-Datenerhebung mit ionisierender Strahlung

Routinemäßig erfolgt heute bei schwierigen Ausgangsbedingungen eine 3-D-Diagnostik mittels ionisierender Strahlung entsprechend der Empfehlung der gültigen Leitlinien [5]. Es werden aber aktuell auch erste Studien über die Anwendung der Magnetresonanztomografie vorgestellt, da hier neben der Hartgewebedarstellung besonders die unterschiedlichen Strukturen des Weichgewebes optimal visualisiert werden können [15]. Im Vergleich zur Computertomografie wurde bei der Entwicklung der DVT auf eine dosisarme Hochkontrastbildgebung Wert gelegt. Besonders durch Programme mit einer speziellen Kupferfilter können Aufnahmen erzeugt werden, die eine Strahlenbelastung im Bereich einer konventionellen zahnärztlichen 2-D-Aufnahme aufweisen. Diese gezielte Darstellung des Hartgewebes wird aber mit dem Nachteil der fehlenden Weichgewebedarstellung erkauft. Daher ist es notwendig, besonders im atrophierten Kiefer darauf zu achten, dass eine mögliche Differenzierung des Weichgewebes im geplanten Operationsgebiet möglich wird.

Beim konventionellen Vorgehen kann die Darstellung der Schleimhautdicke oft nur indirekt mit einer Röntgenschablone erfolgen [13]. Da bei der digitalen Vorgehensweise keine physische Röntgenschablone mit röntgenopaken Strukturen vorliegt, ist es erforderlich, den relevanten

Bereich vor der DVT-Aufnahme auf mögliche Überlagerungen zu untersuchen. Da es besonders bei einer ausgeprägten Atrophie im Unterkieferseitenzahnbereich zu einer relativ hohen Position des Mundbodens kommen kann, der sich dann mit der Zunge auf den zahnlosen Kieferkammabschnitt legen kann, empfiehlt es sich, durch die Einlagerung von Watterollen den Bereich der fixierten Schleimhaut am Alveolarfortsatz getrennt von dem umliegenden Weichgewebe darzustellen.

### Digitalisierung der oralen Befunde

Neben der fehlenden Differenzierung der Weichgewebestrukturen zeigen DVT-Aufnahmen eine für die Herstellung von zahntechnischen Werkstücken zu hohe Toleranz [7]. Obwohl das DVT eine deutlich höhere Auflösung als ein Spiral-CT bei vergleichbarer Strahlenbelastung ermöglicht, reicht eine Auflösung von 0,1 bis 0,3 mm nicht aus, um eine präzise positionierbare Bohrschablone anzufertigen. Daher wurden verschiedene Verfahren entwickelt, um die Daten einer DVT mit Oberflächenscans der oralen Befunde zu überlagern [16]. Die Oberflächenscans können dabei mit einem Intraoralscanner oder über eine konventionelle Abformung erzeugt werden. Da sich mit der Vorstellung von Software-Updates und neuen Intraoralscannern die Verlässlichkeit beim Scannen von großen Kieferabschnitten in den letzten Monaten verbessert hat, ist anzunehmen, dass das Vorgehen mit dem Scannen von konventionellen Modellen rückläufig sein wird [6].

Das Registrieren oder Matchen dieser Datensätze kann entweder über automatische, semiautomatische, individuelle (anhand von Markern) oder anatomische Referenzen vonstatten gehen [8]. Je nach Vorgehensweise erfolgt dies beim Zahnarzt oder Zahntechniker beziehungsweise beim Hersteller, wenn eine zentrale Fertigung vorliegt. Mit der Registrierung des Modells können CAD/CAM-Rekonstruktionen zur Simulation des angestrebten Zahnersatzes eingeblendet werden [17].

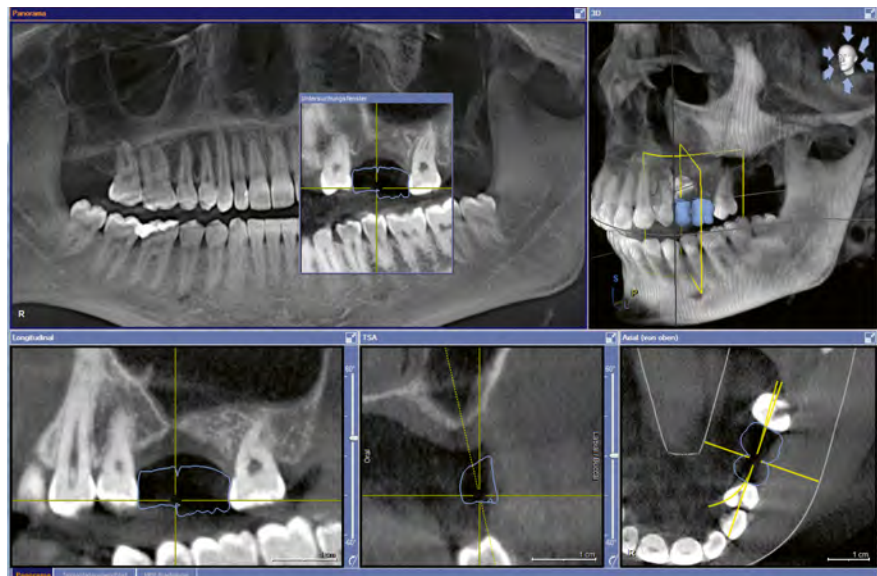


Abb. 1 Präoperatives DVT mit schüsselförmigem Knochendefekt und Überlagerung der angestrebten prothetischen Versorgung



Abb. 2 Intraoperativer Befund mit vertikaler Augmentation mittels retromolarer Knochenplatte bei simultaner Sinusbodenelevation



Abb. 3 Postoperatives Orthopantomogramm mit Darstellung der beiden Osteosyntheseschrauben

Bei einem Versand der radiologischen Daten muss aber in der Regel im Vorfeld abgeklärt werden, unter welchen Einstellungen der Export im Dicom-Format zu erfolgen hat. Der Dicom 3.0-Standard wurde bereits im Jahr 1992 definiert; seitdem wurden nur relativ geringe, meist jährliche Anpassungen der Datenbibliotheken vorgenommen [2]. Somit kann es zu Problemen beim Datentransfer kommen.

### Vorbereitung der Augmentation

Bei Kieferkammdefekten oder einer Atrophie kann das vorhandene Knochenangebot mithilfe einer DVT genau analysiert werden. Durch die Überlagerung der Konstruktionsdaten eines möglichen

Zahnersatzes besteht die Möglichkeit, den Umfang der Augmentation zu definieren. Je nach anatomischen Verhältnissen kann dies auch dazu führen, dass auf eine Augmentation verzichtet wird. Durch die Bestimmung der Dimension des Knochendefekts lässt sich auch die Ausdehnung der notwendigen Knochenentnahme festlegen (Abb. 1 bis 9).

Ähnlich der Konstruktion des geplanten prothetischen Ergebnisses kann auf Basis des Knochendefekts auch das Augmentationsvolumen konstruiert werden. Diese Konstruktion kann für die Herstellung von CAD/CAM-gefrästen allogenen Knochenblöcken oder CAD/CAM-geformten Titangittern zur Sicherung des Volumens verwendet werden.

Die Verwendung von allogenen CAD/CAM-Blöcken wurde vor einigen Jahren

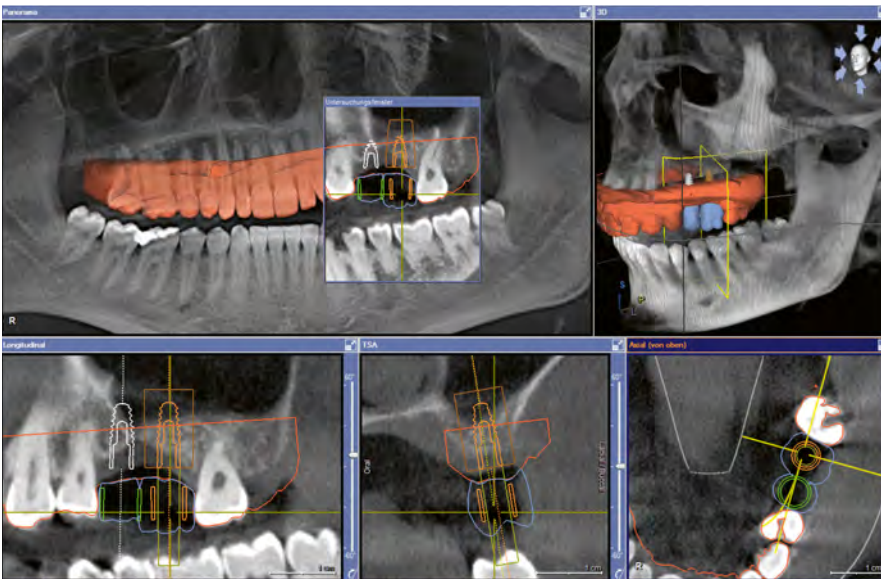


Abb. 4 Planung der 3-D-Bohrschablone am Ausgangs-DVT nach Überlagerung des postoperativen Modells



Abb. 5 STL-Modell der vom Zahntechniker konstruierten Bohrerschablone



Abb. 6 Anwendung der im Praxislabor gefrästen 3-D-Navigationsschablone mit den Führungsschlüsseln

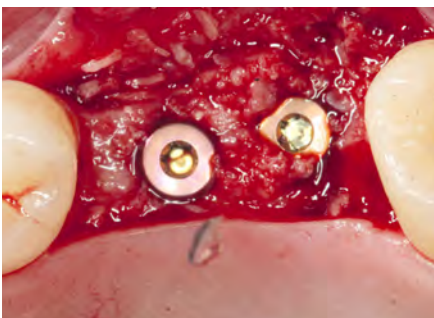


Abb. 7 Insetrierte Implantate mit angelagerten Knochenspänen vor dem Wundverschluss



Abb. 8 Postoperative Röntgenkontrolle nach Implantatinsertion



Abb. 9 Röntgenkontrolle der prothetischen Versorgung mit Einzelkronen

sehr stark propagiert [3,18]. Es hat sich jedoch gezeigt, dass nicht alle Indikationen dafür geeignet sind. Handelt es sich um einen lateralen Defekt, können gute Ergebnisse erreicht werden, da die Wundheilung durch die breite Auflagefläche eine Knochenregeneration ermöglicht. Mit vertikalen Defekten ist ein höheres Risiko verbunden, da die Revaskularisierung relativ langsam voranschreitet.

Die Konstruktion der allogenen Knochenblöcke erfordert einiges an Erfahrung, sodass diese in der Regel zentral beim Hersteller konzipiert werden. Der Zahnarzt kann die Umsetzung seiner Vorgaben vor der Produktion überprüfen. Gegebenenfalls erfolgt eine weitere Abstimmungsrunde. Daher erfordern diese Konstruktionen eine umfangreiche präoperative

Vorbereitung, um das bestmögliche Design für das Augmentat zu erzielen.

Ein weiterer Nachteil dieses Verfahrens besteht in der individuellen Herstellung, da neben dem Fräsen des CAD/CAM-Blocks auch noch die Sterilisationszeit und der Versand berücksichtigt werden müssen, sodass zwischen initialer Beauftragung und der möglichen Augmentationsoperation leicht mehrere Wochen vergehen können. Sofern zum Zeitpunkt der DVT-Aufnahme der Kieferkammdefekt noch nicht vollständig ausgeheilt war, kann es durch die Abbauprozesse zwischenzeitlich zu einer Kontourveränderung des Kieferkammes gekommen sein, sodass intraoperativ Anpassungen des vorgefertigten Knochenblocks notwendig werden (Abb. 10 bis 20).

CAD/CAM-geformte Knochengitter liegen dem ortständigen Knochen lediglich an den Grenzen der Augmentation an [19]. Somit können diese bereits zeitnah zur Zahntfernung bestellt werden, da die Auflagefläche im Vergleich zu den allogenen Blöcken sehr gering ist. Der Hohlraum kann vor der Fixierung mit autologen Knochenspänen oder auch mit xenogenem Material aufgefüllt werden. Sofern sich das umliegende Weichgewebe nach der Fixierung des Gitters gut mobilisieren lässt, können auch vertikale Defekte therapiert werden. Da durch die idealtypische CAD/CAM-Rekonstruktion leicht sehr große Augmentationsvolumen generiert werden, muss sichergestellt sein, dass die weichgewebliche Deckung möglich bleibt, da bei einer Dehiszenz



Abb. 10 Ausgeprägte Atrophie in der Oberkieferfront nach langjährigem Zahnverlust

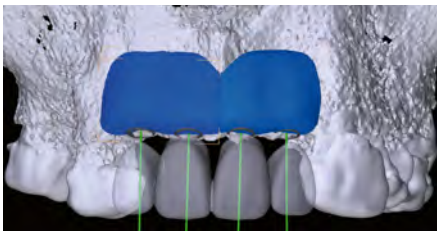


Abb. 12 Konstruktion von produktionsbedingt zwei Knochenblöcken zur Kieferkammaugmentation

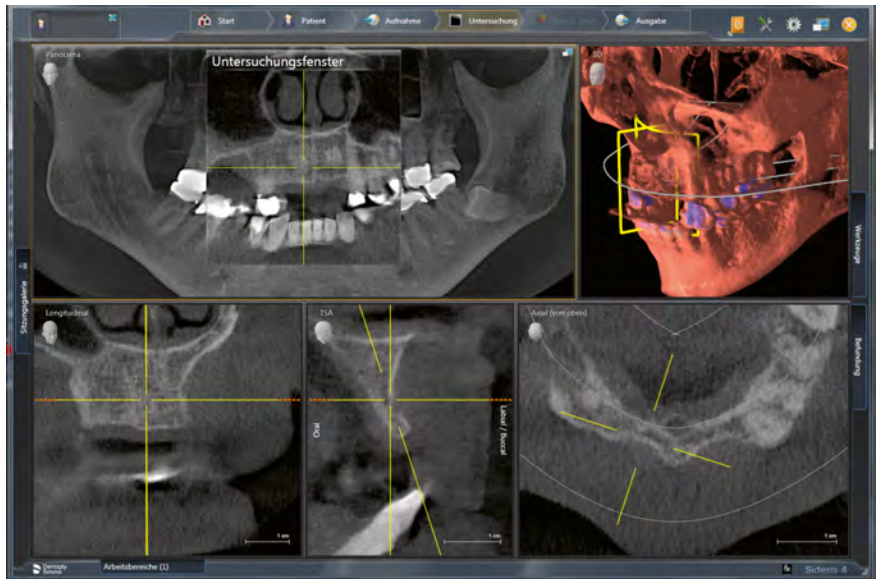


Abb. 11 DVT zur genauen Bestimmung der Kieferkammautrophie im Front- und Seitenzahnbereich



Abb. 13 CAD/CAM-gefertigte allogene Knochenblöcke nach Sterilisation



Abb. 14 Passgenaue Anlagerung der Knochenblöcke bei einer deutlichen Mobilisation der Schleimhaut

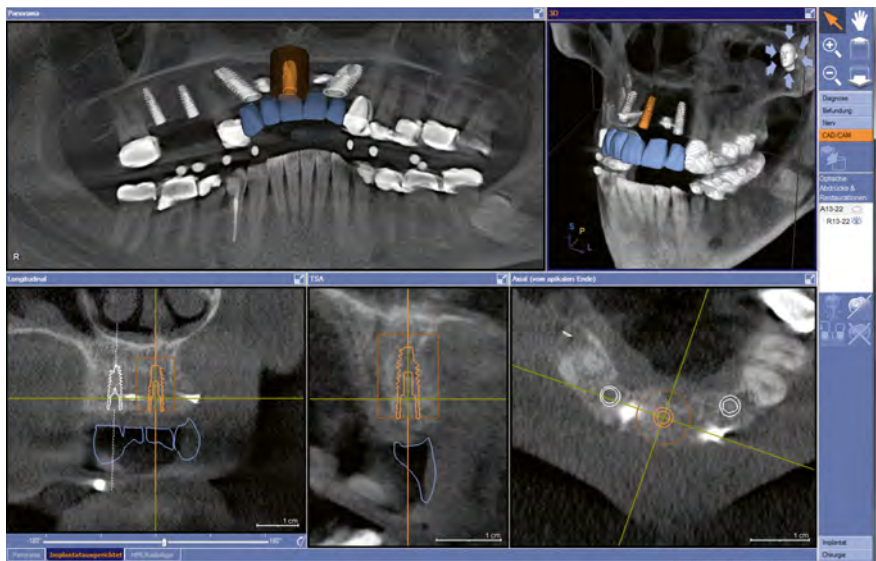


Abb. 15 Planung der Implantate nach erfolgter Konsolidierung der allogenen Knochenblöcke im DVT



Abb. 16 Zentral gefertigte Bohrschablone zur Insertion von insgesamt fünf Implantaten



Abb. 17 Kontrollaufnahme nach Insertion der Implantate



Abb. 18 Achsgerechte Implantatpositionen mit stabilem Hart- und Weichgewebe mit individuellen CAD/CAM-gefertigten Abutments



Abb. 19 Brückenversorgung in der Oberkieferfront



Abb. 20 Kontrolle der Implantate ein Jahr nach prothetischer Versorgung

ten [13]. Diejenigen Systeme, die eine mechanische Umsetzung der Planungsdaten favorisiert haben, sind nicht mehr relevant am Markt vertreten, da in der Regel aus der Planungssoftware eine digitale Konstruktion der Bohrschablone geliefert wird. Diese Konstruktionen erfolgen entweder zentral beim Systemanbieter oder werden vom Zahntechniker im gewerblichen oder Praxislabor angefertigt [11,12]. Je nach Konzeption wird dabei eine Referenzplatte umgearbeitet oder es werden die Oberflächendaten zur Konstruktion genutzt, sodass lediglich eine Konstruktionsdatei der Bohrschablone vom Systemanbieter zur Verfügung gestellt wird, die dann vom Zahntechniker entweder gefräst oder gedruckt werden kann.

Die Sofortversorgung stellt eine wesentliche Domäne der digitalen Vorgehensweise in der Implantatchirurgie dar. Durch die exakte Planung und die Option, den Zahnersatz bereits in der Planungs-

sonst ein Verlust des Augmentats drohen kann (Abb. 21 bis 27).

### Herstellung von 3-D-Bohrschablonen

Am weitesten verbreitet ist die Herstellung von 3-D-Bohrschablonen, die die

Technologien des digitalen Vorgehens für eine genaue Umsetzung der Implantatplanung nutzen [4]. Dazu werden heute von den Herstellern von Implantaten, Röntgengeräten und zahntechnischen Konstruktionsprogrammen, aber auch von unabhängigen Anbietern Systeme zur Bohrschablonenherstellung angebo-

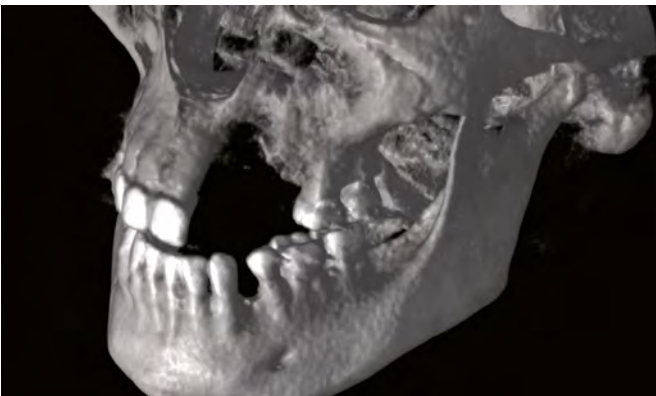


Abb. 21 3-D-Rekonstruktion mit ausgedehnter Darstellung des Knochen-defekts von regio 12 bis 15 mit Lückenschluss in regio 15

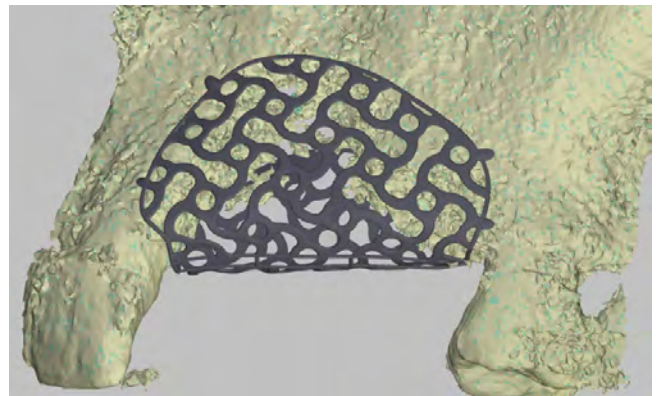


Abb. 22 Konstruktion eines dreidimensional geformten Titangitters zur Defektaugmentation

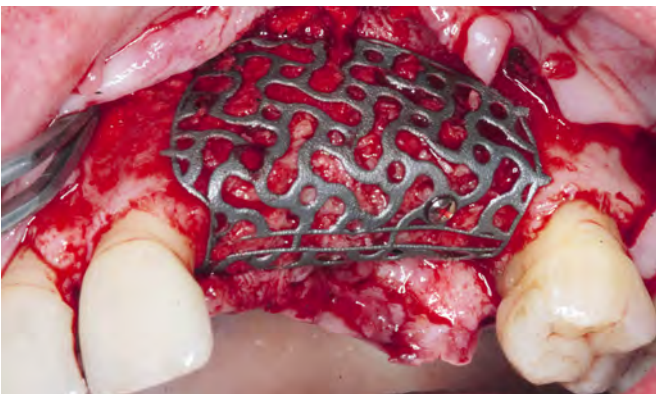


Abb. 23 Positionierung des mit autologen Knochenspänen aufgefüllten 3-D-Gitters

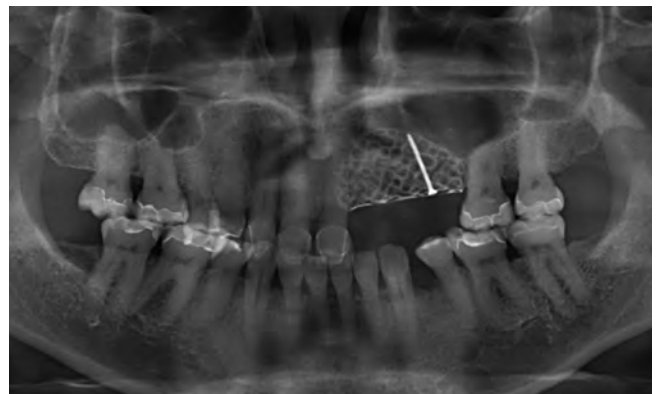


Abb. 24 Röntgenkontrolle des mit lediglich einer Schraube fixierten Titangitters

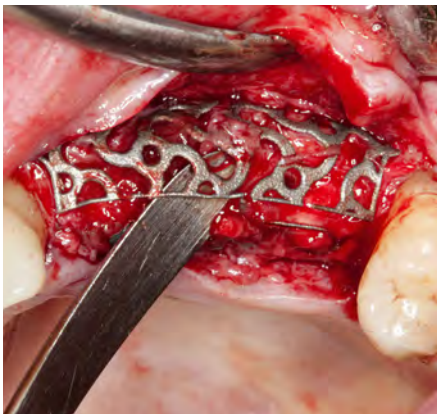


Abb. 25 Einfache Entfernung des Tiangitters durch Lösen an den Sollbruchstellen

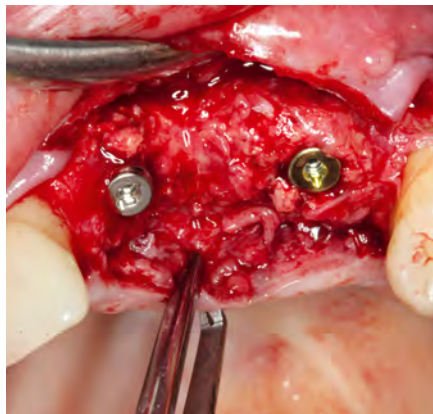


Abb. 26 Stabiles Augmentat nach Implantatinsertion

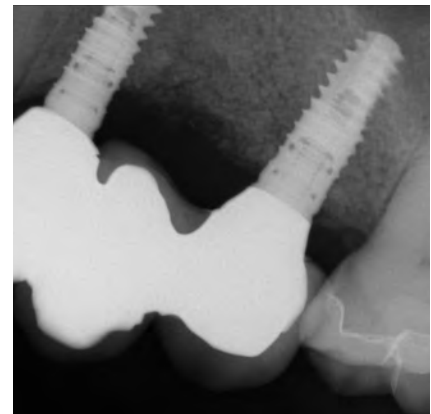


Abb. 27 Röntgenkontrolle der prothetischen Versorgung mit stabilem Augmentat

phase vor der Operation herzustellen, ist es möglich, nicht nur eine Einzelzahnversorgung, sondern auch umfangreiche Rekonstruktionen zu realisieren [1]. Damit wird auch der Arbeitsablauf deutlich verkürzt, da die Implantatposition bei der präoperativen Planung bestimmt wurde und so keine Abformung und Modellherstellung am Ende der Implantation notwendig werden, da lediglich der bereits digital angefertigte Zahnersatz fixiert wird.

## Diskussion

Da mit jeder Anwendung einer ionisierenden Strahlung ein potenzielles Risiko von Langzeitschäden verbunden ist, wurden zwei Leitlinien erarbeitet, die auf dem Gebiet der Implantatchirurgie zur Anwendung kommen. Neben der allgemeingültigen Leitlinie „Digitale Volumetomografie in der Zahnmedizin“ steht eine weitere Leitlinie mit dem Titel „Indikationen zur implantologischen 3-D-Röntgendiagnostik und navigationsgestützten Implantologie“ zur Verfügung [5,14].

Besonders bei umfangreichen Augmentationen verändert sich oftmals der klinische Befund, sodass zur Kontrolle des Augmentats und zur weiteren Implantatplanung durchaus mehrere Aufnahmen notwendig werden können. Dahingegen kann bei einer sehr umschriebenen Augmentation die Simulation des erreichten Ergebnisses durch eine Überlagerung des Oberflächenscans

erfolgen. Dies setzt voraus, dass ein verlässliches 3-D-Verfahren angewendet wurde und somit davon auszugehen ist, dass direkt unter der Schleimhaut eine ausreichende Knochenregeneration erfolgt ist. Somit ist es möglich, in Einzelfällen auf die sonst notwendige aktuelle DVT-Aufnahme zu verzichten.

Bei kleineren Implantatversorgungen mit zwei bis drei Implantaten pro Quadrant kann die Bohrschablonenherstellung mittels Fräsverfahren im eigenen Labor erfolgen. Dies ermöglicht, die Wertschöpfung in der Praxis zu halten, und bedingt auch eine kurzfristige Verfügbarkeit, sodass umfangreiche logistische Prozesse nicht notwendig sind. Werden mehrere Implantate gesetzt oder handelt es sich um eine ästhetisch anspruchsvolle Rekonstruktion, ist es erforderlich, die Bohrschablone mithilfe einer Referenzplatte anzufertigen, die dann in einer zentralen Fertigung umgesetzt werden kann.

Gerade im hochatrophen Kiefer ist es nach einer Augmentation wichtig, die Weichgewebedarstellung zu ermöglichen. Dies kann indirekt über eine Röntgenschablone erfolgen, bei der die Weichgewebe von Wange und Zunge durch die Referenzplatte mit der daran befestigten Aufstellung aus röntgenopakem Kunststoff vom Alveolarfortsatz abgehalten werden, sodass eine Differenzierung zwischen Prothetikaufstellung, Weichgewebe und Knochen stattfindet. Auf diese Weise kann eine Überlagerung des Datensatzes erreicht werden, ohne dass sich Ein-

schränkungen durch die fehlende genaue Weichgewebedarstellung ergeben.

## Fazit für die Praxis

Die digitale Vorgehensweise in der Implantatchirurgie ermöglicht eine effektive Unterstützung des Chirurgen, des Zahntechnikers und des Prothetikers im implantologischen Behandlungsablauf. Sie erfordert jedoch die Etablierung von routinemäßigen Abläufen, die sich an den klinischen Begebenheiten und den Möglichkeiten der jeweils verwendeten Programme orientieren. Somit können gerade in schwierigen Situationen Komplikationen vermieden werden, um eine Optimierung der Behandlungsergebnisse zu erreichen. Bei der Etablierung eines funktionierenden Arbeitsablaufs können besonders der direkte chirurgische und prothetische Behandlungsaufwand und damit die Patientenmorbidity reduziert werden. Dies bedeutet aber nicht, dass diese neuen Techniken weniger Arbeitszeit erfordern, da zunächst eine Lernkurve nötig ist, um die vielfältigen Möglichkeiten optimal nutzen zu können.

Korrespondenzadresse:  
Priv.-Doz. Dr. Jörg Neugebauer  
Dr. Bayer & Kollegen  
Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis  
Von-Kühlmann-Straße 1  
86899 Landsberg am Lech  
neugebauer@implantate-landsberg.de

Literatur bei der Redaktion