Der Einsatz der digitalen Bohrschablonenherstellung bei augmentativen Verfahren

Bohrschablonen können in der modernen Implantattherapie besonders in Fällen mit vertikalen Kieferkammrekonstruktionen die Orientierung im vernarbten Weichgewebe erleichtern. Gleichzeitig können damit die Achsabweichungen des Bohrers in der oft unterschiedlichen Knochenqualität nach Augmentation vermindert werden. Dieses Vorgehen bedarf einer sorgfältigen Vorbereitung mittels 3-D-Röntgendaten und digitalen Techniken, um nicht zuletzt auch die prothetische Versorgung realistisch planen zu können. Dr. Neugebauer und Kollegen zeigen im folgenden Beitrag, wie der komplexe Behandlungsablauf in solchen Fällen effizient gestaltet werden kann.

Priv.-Doz. Dr. Jörg Neugebauer[1,2], Dr. Frank Kistler[1], Dr Steffen Kistler[1], Priv.-Doz. Dr. med. Dr. med. dent. Lutz Ritter[2], Dr. med. Dr. med. dent. Timo Dreiseidler[2], Univ.-Prof. Dr. Dr. Joachim E. Zöller[2]

■ In der modernen Implantattherapie werden augmentative Verfahren besonders für vertikale Kieferkammrekonstruktionen angewendet. Durch die dadurch erforderlichen, mehrfachen Operationen zeigt sich das Weichgewebe vernarbt und die klassische Orientierung zur Implantatpositionierung ist oftmals nicht möglich, um den prothetischen Aspekten gerecht zu werden. Zusätzlich zeigt sich bei zweizeitigen Verfahren die Knochenqualität sehr unterschiedlich, sodass es beim Auftreffen des Bohrers zu Achsabweichungen kommen kann. Hierdurch stellt sich die Indikation für die Anwendung von Bohrschablonen, die auf der Basis von dreidimensionalen Röntgendaten hergestellt werden, um einen vorhersagbaren Therapieverlauf zu erreichen. Die Prozesskette variiert je nach angewendetem Planungsprogramm und der Hardware zur Umsetzung der Planungsdaten in einer zahntechnisch oder industriell hergestellten Schablone. Dieser sehr arbeitsintensive Behandlungsablauf kann durch die Nutzung der digitalen Techniken sowohl vom zahntechnischen als auch logistischen Aufwand deutlich reduziert werden.

Bei ausgedehnten Defekten mit der Notwendigkeit einer vertikalen oder ausgedehnten horizontalen Augmentation zeigt die autologe Augmentation mit einem retromolaren Knochenblocktransplantat oder einem freien Beckenkammtransplantat die immer noch nachvollziehbarste Behandlungsoption. Da es bei diesen Operationen je nach Schnittführung zu einer Verlagerung oder gar Verlust der Zone der keratinisierten Schleimhaut führt und der Kieferkamm nicht mehr die physiologische Kontur aufzeigt, ist die rein anatomische Orientierung für eine prothetisch ideale Versorgung schwierig (Abb. 1–8). Zudem zeigen die Augmentate besonders im Unterkieferseitenzahnbereich

Abb. 1: Ausgeprägter Kieferkammdefekt Regio 35/36.

eine sehr unterschiedliche Knochenqualität. Somit kann es nach der initialen Aufbereitung im augmentierten Bereich beim Auftreffen des Bohrers auf den kortikalen Knochen zu einer Abweichung von der geplanten Achsposition kommen. Daher ist bei diesen Fällen die Anwendung einer Bohrschablone zu empfehlen, die über verschiedene Herstellungsverfahren erzeugt werden kann.[14]

Die Nutzung digitaler Technologien in der Zahnheilkunde fand vor allem zunächst auf dem Gebiet der radiologischen Diagnostik statt, da durch die Möglichkeiten, Röntgenaufnahmen digital zu erzeugen, der sehr

Abb. 2: DVT (GALILEOS, Sirona, Bensheim) zur Bestimmung der Defektkonfiguration und des Knochenangebotes 38.

1 Zahnärztl. Gemeinschaftspraxis Dres. Bayer, Kistler, Elbertzhagen und Kollegen
2 Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie
Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität zu Köln

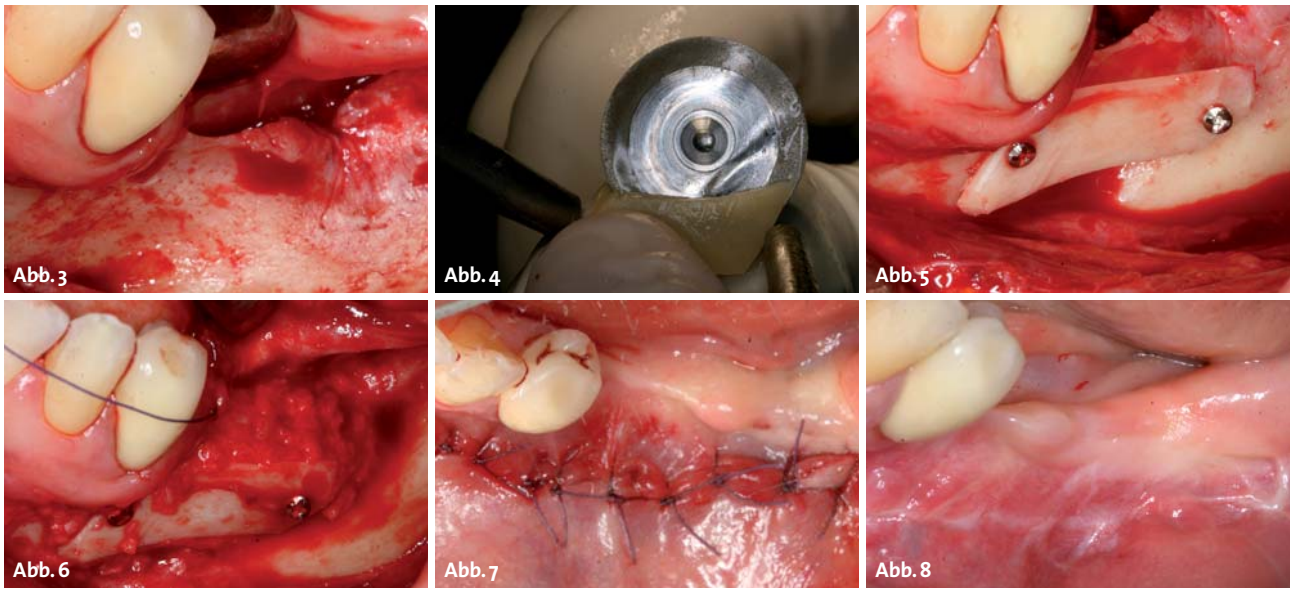

Abb. 3: Darstellung des Defektes nach vestibulärer Schnittführung. – **Abb. 4:** Anpassen des aus Regio 38 entnommenen Knochenblocks. – **Abb. 5:** Fixation einer dünnen kortikalen Platte zur 3-D-Rekonstruktion des Defektes. – **Abb. 6:** Auffüllen des Defektes mit partikuliertem Knochen. – **Abb. 7:** Mehrschichtiger Wundverschluss nach vestibulärer Schnittführung. – **Abb. 8:** Reizlose Abheilung mit Verlust der Umschlagfalte und reduzierter Zone keratinisierter Schleimhaut.

aufwendige Arbeitsablauf der Röntgenfilmentwicklung und -archivierung vereinfacht werden konnte.[23] Es war jedoch auch ein relativ langer Weg von der ersten Vorstellung der digitalen Zahnfilme und zur Erstellung von digitalen Panoramaübersichtsaufnahmen bis hin zur heute viel diskutierten digitalen Volumentomografie.[9] Besonders bei der digitalen Volumentomografie war zunächst die Verfügbarkeit der 3-D-Bildgebung in der Zahnarztpraxis ein Vorteil. Diese Technologie ist aber nicht nur aus strahlenhygienischen Gründen, sondern auch aufgrund der Darstellung mit einer höheren Detailtreue im Kopf-Hals-Bereich der Computertomografie überlegen, wobei die Strahlenbelastung zwischen den einzelnen Geräten um das 20-Fache höher sein kann und eine für die Indikation spezifische Auswahl der Parameter erfordert.[9,15] Nach der Vorstellung der ersten DVT-Geräte mit unterschiedlichen technischen Parametern liefern die heute verfügbaren Geräte eine vergleichbare Bildqualität, sodass sich die Geräte im Wesentlichen durch die Handhabbarkeit der jeweils spezifischen Bildbearbeitungssoftware unterscheiden.

Eine weitere schwierige und fehlerbehaftete Prozesskette in der Zahnheilkunde stellt die Abdrucknahme dar, da es hier, je nach angewendetem Material und Vorbereitung im Sinne von individuellen Löffeln, zu mehr oder minder großen Abweichungen bei der Darstellung des jeweils bearbeiteten Objektes kommen kann.[16] Auch hier zeigt sich eine relativ lange Entwicklungsphase von den ersten optischen Abdrücken, die zur Herstellung von Inlays verwendet wurden, bis zu der Möglichkeit, dass heute ganze Kiefer und die Antagonisten mittels einer Intraoralkamera abgeformt werden können.[10] Inzwischen werden verschiedene Systeme angeboten, die sich aber in der Möglichkeit der zahntechnischen und besonders der Weiterverarbeitung am Behandlungsstuhl der digitalen Aufnahme unterscheiden.

Bei der Implantatplanung stehen schon seit vielen Jahren Programme zur Verfügung, die es ermöglichen, 3-D-Röntgendaten für eine prothetisch orientierte Planung zu nutzen.[13] Diese Programme wurden aber auch schon vor ca. 15 bis 20 Jahren konzipiert, sodass zum damaligen Zeitpunkt auf die einzelnen, oftmals wenigen Schichten der Computertomografie zurückgegriffen wurde, die mit einem relativ großen Schichtabstand von 1–2 mm erstellt wurden.[1,5,8,20] Ferner zeigen diese Planungsprogramme den Nachteil, dass ein relativ hoher zahntechnischer Arbeitsaufwand zur Herstellung der prothetischen Simulation und der Verankerung von Referenzplatten notwendig wird.[6] Nach der computerunterstützten Planung werden diese Daten dann wiederum vom Zahntechniker weiterverarbeitet, sodass zwar eine computerunterstützte Implantatplanung stattfindet, diese aber jedoch einen hohen manuellen Arbeitsanteil zeigt. Überall dort, wo computerunterstützte Daten für die Weiterverarbeitung manuell bzw. per Datensatz in ein analoges System übertragen werden müssen, liegt eine relativ hohe Fehlerquote vor.[7] Bei der Herstellung von Bohrschablonen über stereolithografische Verfahren oder dem 3-D-Drucken ist die Genauigkeit der Auflage der Schablonen auf den Pfeilerzähnen durch die Auflösung der Oberflächendarstellung der Röntgenaufnahme bestimmt, sodass eine Nachbearbeitung mit einem konventionellen Modell oftmals notwendig wird.

Bei der Nutzung von DVT-Daten im Vergleich zu CT-Daten zeigt sich eine schlechtere Darstellung des oralen Weichgewebes, da durch die geringere Strahlenbelastung ein geringerer Kontrast der Weichgewebsstrukturdarstellung vorliegt. Daher wird bei der konventionellen Bohrschablonenherstellung eine indirekte Darstellung des Weichgewebes durch die Auflagerung der $BaSO_4$-Aufstellung erreicht. Dies bedeutet eine zahntechnische Vorbereitung für die Anfertigung der Röntgenauf-

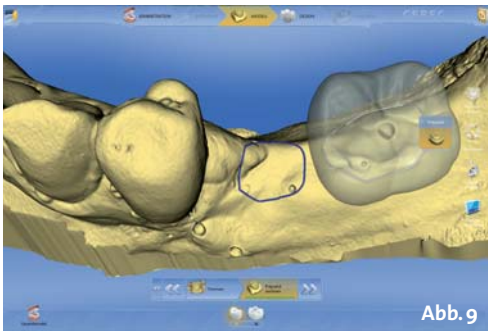
Abb. 9

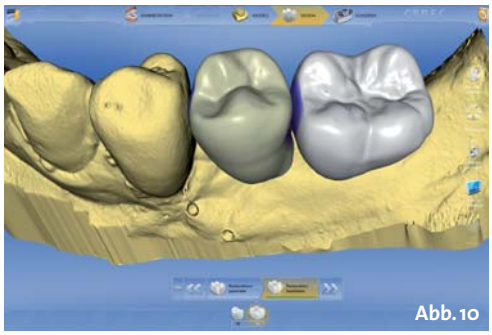
Abb. 10

Abb. 11

Abb. 9: Anlegen des möglichen Durchtrittprofils für die Modellation des angestrebten Zahnersatzes am digitalen Modell. – **Abb. 10:** Digitales Wax-up (CEREC 4.0, Sirona Dental Systems, Bensheim) für die prothetisch orientierte Implantatplanung. – **Abb. 11:** Darstellung des digitalen Wax-up zum Export für das Planungsprogramm.

nahme, sodass nach der Indikationsstellung für die 3-D-Röntgenaufnahme zusätzliche Vorbereitungen für den weiteren Termin notwendig werden.
Daher war eine Weiterentwicklung quasi nicht zu vermeiden, die sich zum einen der direkten Nutzung der DVT-Daten widmet und es auf der anderen Seite ermöglicht, dass der konventionelle zahntechnische Behandlungsablauf soweit wie möglich reduziert wird, indem die Daten eines digitalen Abdruckes für die Herstellung einer Bohrschablone verwendet werden können.[12,18]

Digitale Implantatplanung

Entsprechend des klassischen zahntechnischen Behandlungsablaufes wird bei der digitalen Implantatplanung zunächst eine DVT erzeugt. Dabei ist darauf zu achten, dass die Implantatplanung aufgrund der Übertragbarkeit der Daten lediglich an einem soweit reduzierten Restzahnsystem erfolgen kann, dass zumindest drei Pfeilerzähne für die Abstützung einer Bohrschablone zur Verfügung stehen. Diese Pfeilerzähne und das Weichgewebe in dem Areal der geplanten Implantate werden zunächst mit einem optischen Abdruck eingescannt. Neuere Systeme erlauben auf das Bestäuben der Oberfläche mit einem Puder zu verzichten, um eine genaue intraorale Übertragung zu erreichen (CEREC Omnicam, Sirona, Bensheim).[16,24] Die Abdrucknahme der jeweiligen Antagonisten ist für die Konstruktion des angestrebten prothetischen Ergebnisses notwendig, sodass auch der Gegenkiefer optisch abgeformt wird. Ähnlich wie in der Medizin bieten immer mehr Hersteller die Möglichkeit, optische Daten mit den Röntgendaten zu überlagern.[17] Nachdem diese Daten im Konstruktionsprogramm eingelesen und als 3-D-Modell zur Verfügung stehen, kann die Konstruktion der implantatprothetischen Suprakonstruktion simuliert werden. Dazu werden auf dem Kieferkamm idealtypische Präparationslinien positioniert, sodass dann verblockte Kronen dargestellt werden können. Diese werden dann in einem speziellen Dateiformat exportiert, sodass sie für die präzise Überlagerung mit dem Implantatplanungsprogramm zur Verfügung stehen.[19] In der Planungssoftware (SICAT Implant, Bonn) können somit die Daten eines DVT-Scans genutzt werden, dass hier eine Überlagerung mit dem optischen Abdruck erfolgen kann. Damit steht für die weitere Implantatplanung das angestrebte prothetische Ergebnis digital zur Verfügung, sodass dieses dann für die Ausrichtung der Implantate verwendet werden kann. Zum Abschluss der Planung und vor Bestellung der Bohrschablone wird die jeweilige Hülse entsprechend des verwendeten Bohrsystems ausgewählt. Dies kann lediglich eine Pilotführungshülse für den jeweiligen Vorbohrer sein oder eine Masterhülse, die es dann erlaubt, dass eine voll geführte Implantataufbereitung und Insertion möglich wird. Da die voll geführten Systeme teilweise ein etwas komplexeres Handling zeigen und sich die Anwendung der Pilothülse für die meisten Fälle gerade dann, wenn keine Suprakonstruktion als Sofortversorgung vorbereitet wird, bewährt hat, reicht diese Pilothülse in der Regel für eine genaue Positionierung aus (Abb. 9–16).

Herstellung Bohrschablonen

Nach der digitalen Planung muss die Entscheidung getroffen werden, ob die Herstellung der Bohrschablone auf Basis der bei der Röntgenaufnahme mit Bissregistrierungsmaterial eingebrachten Referenzplatte oder auf Basis des optischen Abdruckes erfolgen soll.[11] Bei dem Vorhandensein von metallischen oder röntgendichten prothetischen Konstruktionen auf den Nachbarzähnen kann die Überlagerung des optischen Abdruckes auf den Röntgendaten aufgrund der Metallartefakte nicht ideal erfolgen. Auch bei größeren Lücken, besonders dann, wenn keine eindeutige Lagestabilität zu erwarten ist, sollte auf die Option der digitalen Datenübertragung verzichtet werden und es werden die Bestelldaten mit der Referenzplatte postalisch an das Fertigungszentrum übermittelt. Bei einer idealen Überlagerung ist die Fertigung der Bohrschablone allein über die digitalen Daten möglich, die direkt über ein Datenübertragungsprogramm an das Herstellungszentrum übermittelt werden können. Somit fällt ein weiterer Arbeitsschritt weg und die Logistikkette ver-

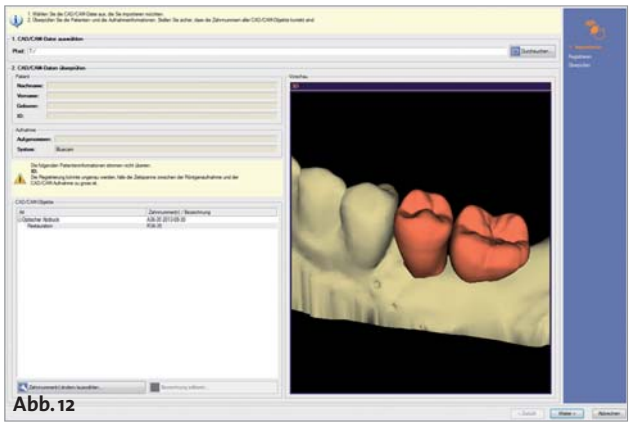
Abb. 12

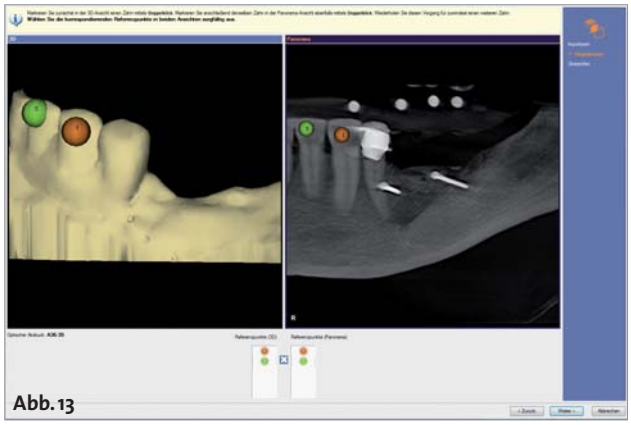
Abb. 13

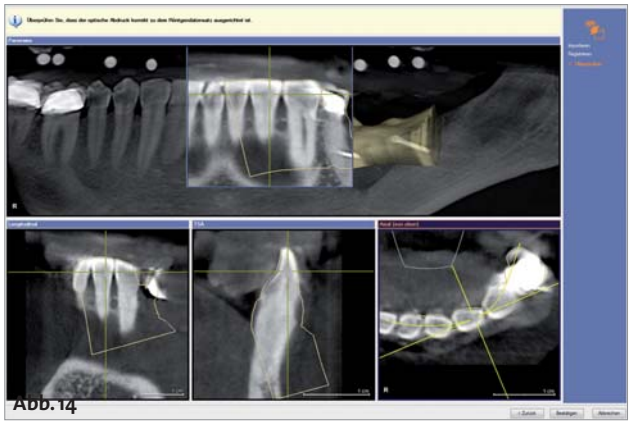
Abb. 14

Abb. 12: Einlesen des digitalen Wax-up in der Implantatplanungssoftware (Galileos Implant, SICAT, Bonn). – **Abb. 13:** Markierung an den natürlichen Zähnen des digitalen Modells und des DVTs zur Überlagerung der Daten. – **Abb. 14:** Kontrolle der Überlagerung mit Darstellung der Konturen des optischen Modells über den Zahnkronen.

kürzt sich. Nachdem die Daten in der zentralen Fertigung eingelesen sind, wird die Bohrschablone aus einem Block gefräst, um dann mit der jeweiligen Hülse versorgt zu werden. Der Behandler erhält vom Herstellungszentrum eine Bohrschablone zugesandt, die für die Implantatinsertion und gegebenenfalls auch für die Vorbereitung eines Provisoriums durch einen Zahntechniker genutzt werden kann (Abb. 17–25).

Diskussion

Im klassischen zahntechnischen Behandlungsablauf folgt normalerweise nach der Abdrucknahme die weitere Bearbeitung beim Zahntechniker, der die Aufstellung erbringt, die je nach Komplexität der Versorgung auch am Patienten verifiziert werden muss. Als weiterer Behandlungsschritt erfolgt dann die Fixierung der Referenzplatte, um letztendlich den DVT-Scan erzeugen zu können. Nach der Implantatplanung und dem Röntgenscan wird diese Bariumsulfat-Schablone mit der Referenzplatte erneut zum Zahntechniker gesandt, damit dann die Bohrungen durchgeführt werden können. Bei dem digitalen Vorgehen können bereits bei der Aufnahmeuntersuchung die Abdrucknahme und der DVT-Scan erfolgen, sodass hier lediglich eine Sitzung notwendig wird.

Die Möglichkeit der Überlagerung von optischen Daten mit Röntgendaten erlaubt bei Herstellung von Bohrschablonen die Simulation von prothetischen Planungsdaten.[2,18] Der direkte File Transfer bei der Bohrschablonenbestellung ermöglicht eine Optimierung des Arbeitsablaufes, da der finanzielle und zeitliche logistische Aufwand zur Übersendung der Planungsunterlagen an die zentrale Fertigung wegfällt.

Die Überprüfung der Präzision erfolgte durch Verwenden von Messimplantaten oder Bohrern, die in den Hülsensystemen mit einem Spiel von ca. 0,1 mm angewendet werden.[12,22] Da sich bei der Pilotstudie in allen Fällen eine drucklose Einsetzbarkeit der Messstifte zeigte, ist von einer Abweichung der Genauigkeit zwischen der konventionellen Bohrschablone und der direkt gefrästen Bohrschablone von unter 0,15 mm auszugehen.[12] Diese Abweichung zeigt sich im normalen Toleranzbe-

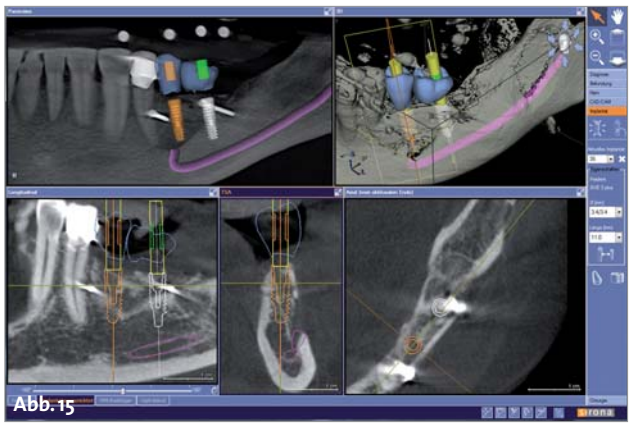
Abb. 15

Abb. 16

Abb. 15: Digitale Planung mit Darstellung der Implantatkörper und Bohrhülsen in Regio 35/36. – **Abb. 16:** Auf Basis der optischen Abdrucknahme hergestellte Bohrschablone mit 2-mm-Hülsen (OPTIGUIDE, SICAT Bonn), die mindestens über vier Zähne fixiert werden sollte.

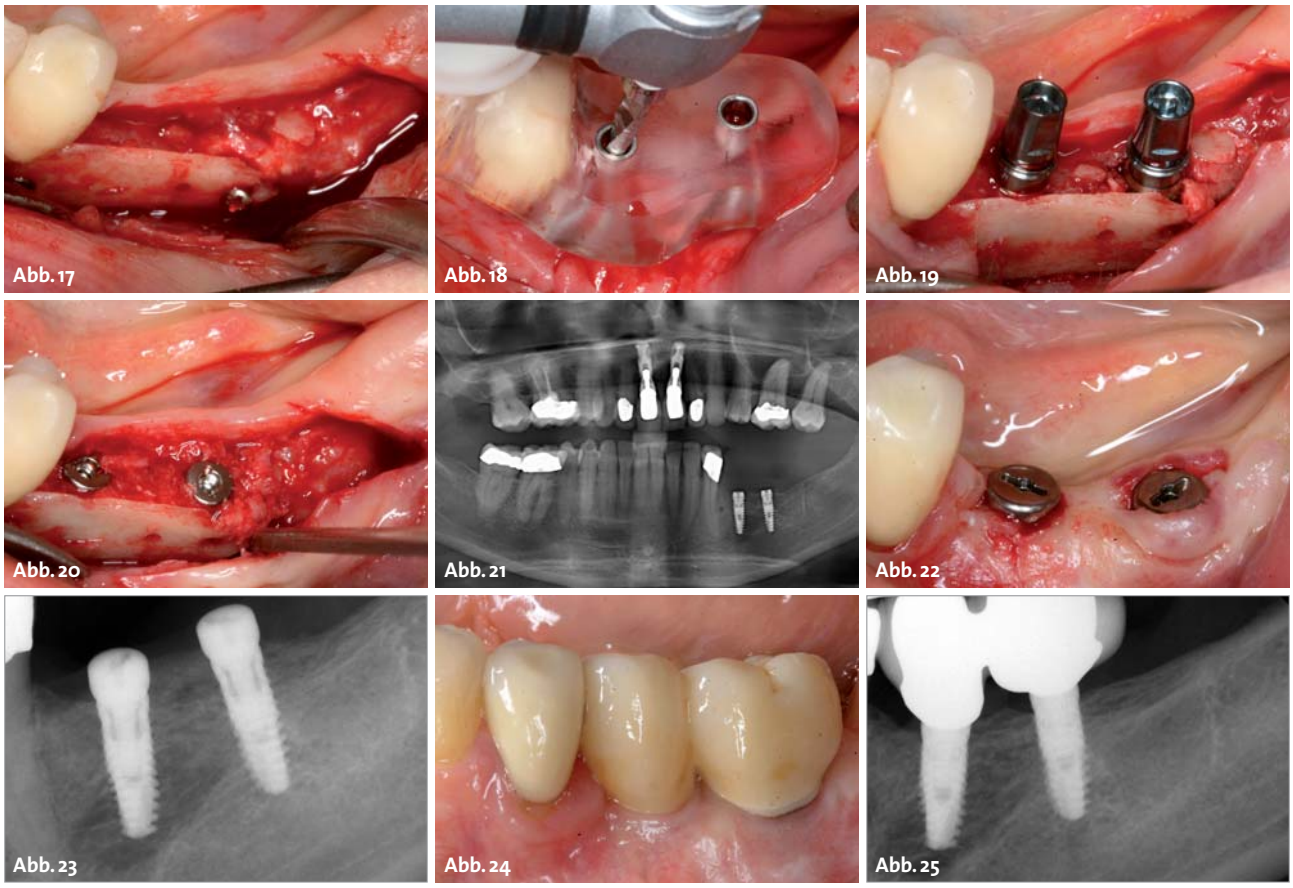

Abb. 17: Darstellung des augmentierten Bereichs zur Entfernung der Osteosyntheseschrauben. – **Abb. 18:** Geführte Pilotbohrung mit der 3-D-Bohrschablone. – **Abb. 19:** Parallele Insertion der Implantate unter Schonung des vestibulär angelagerten Knochens. – **Abb. 20:** Periimplantäre Augmentation mit den beim Bohrvorgang gesammelten Knochenspänen. – **Abb. 21:** Postoperative Kontrolle der erreichten Implantatposition mittels OPG. – **Abb. 22:** Freilegung der Implantate mit minimalinvasiver Weichgewebsaufdehnung. – **Abb. 23:** Postoperative Kontrolle mit radiologisch reduzierter Knochenstruktur im Bereich des Foramen mentale und stabilen krestalen Knochenniveaus. – **Abb. 24:** Prothetische Versorgung mit verblockten Kronen durch Hauszahnärztin. – **Abb. 25:** Röntgenkontrolle der prothetischen Versorgung nach sechs Monaten mit stabilen ossären Strukturen.

reich der Prozesskette, wie dies schon bei In-vitro-Studien gezeigt werden konnte.[4] Die direkte Herstellung von Bohrschablonen durch die Verwendung von Oberflächenscans ist somit eine konsequente Weiterentwicklung der bisherigen Nutzung dieses Verfahrens, indem das prothetische Wax-up nicht mehr durch den Zahntechniker erfolgt, sondern digital mithilfe einer CAD/CAM-Software zur Verfügung gestellt werden kann.[2,18] Dies ist somit ein weiterer Schritt in der Nutzung der digitalen Technologien zur Optimierung des Behandlungsablaufes.

Besonders bei aufwendigen chirurgischen Verfahren, die mit einer schwierigen Hart- und Weichgewebssituation münden, kann durch die kosten- und zeiteffektive Herstellung einer auf Basis von dreidimensional digitalen Daten hergestellten Bohrschablone eine Optimierung der Implantatpositionierung erreicht werden. Dabei muss aber auch bei den digital hergestellten Bohrschablonen beachtet werden, dass diese Anwendung eine entsprechende Schulung und Erfahrung des Anwenders erfordert, um das erwartete Ergebnis zu erhalten.[3] Der erhöhte finanzielle Aufwand zur zahntechnischen Vorbereitung und auch die Logistikkosten sind somit im Vergleich zu den Gesamtbehandlungskosten vertretbar.[21] Die Nutzung dieser Technologie zeigt ferner weniger Anfälligkeiten für produktionsbedingte metrische Abweichungen[7] und erhöht somit die Reliabilität der modernen CAD/CAM-gestützten Verfahren in der chirurgisch orientierten Behandlung von Patienten zur Eingliederung von Zahnersatz, der dann aufgrund der vorliegenden Daten auch durch CAD/CAM-Verfahren rationell hergestellt werden kann.[13] ■

Literaturliste

KONTAKT

Infos zum Autor

Priv.-Doz. Dr. Jörg Neugebauer
Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis
Dres. Bayer, Kistler, Elbertzhagen u. Kollegen
Von-Kühlmann-Straße 1, 86899 Landsberg am Lech
neugebauer@implantate-landsberg.de
www.implantate-landsberg.de

Univ.-Prof. Dr. Dr. Joachim E. Zöller
Direktor der Interdisziplinären Poliklinik
für Orale Chirurgie und Implantologie
Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der
Universität zu Köln
Kerpener Straße 32, 50931 Köln

Infos zum Autor