

L. Ritter¹, J. Neugebauer^{1,2}, T. Dreiseidler¹, V.E. Karapetian¹, J.E. Zöllner¹

CAD/CAM-Verfahren in der Implantologie: Ein neuartiges Verfahren zur virtuellen Implantatplanung

CAD/CAM in dental implantology – a novel approach for virtual implant planning



L. Ritter

Einführung: Die dreidimensionale Diagnostik mittels dentaler Volumentomographie (DVT) findet zunehmend Verbreitung in der Planung von dentalen Implantaten.

Material und Methode: Verschiedenste Softwarepakete zur Integration von prothetischer und anatomischer Information stehen zur Verfügung.

Ergebnisse und Schlussfolgerung: Ziel dieses Artikels ist es, eine rein virtuelle Planung auf Basis von DVT und CAD/CAM-Daten, sowie eine mögliche Umsetzung mittels dezentral gefertigter Bohrschablone aufzuzeigen. (Dtsch Zahnärztl Z 2012, 67: 170–176)

Schlüsselwörter: CAD/CAM Implantatplanung, DVT, Cerec, Bohrschablonen

Introduction: Three-dimensional radiological diagnostics by cone-beam computed tomography (CBCT) is increasingly used in planning of dental implants.

Material and Method: Based on CBCT data dedicated software for virtual planning is available. Different approaches for implementing prosthetic information and surgical guidance have been proposed.

Results and Conclusion: Aim of this article is to introduce a novel approach for virtual implant planning and drill guide manufacturing based on the registration of CAD/CAM and CBCT data.

Keywords: CAD/CAM Implant Planning, CBCT, Cerec, Implant Drill guide

¹ Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie und Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie der Uniklinik Köln

² Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis, Dres. Bayer, Kistler, Elbertzhagen und Kollegen; Von-Kühlmann-Str. 1, 86899 Landsberg am Lech

Peer-reviewed article: eingereicht: 15.09.2011, revidierte Fassung akzeptiert: 15.01.2012

DOI 10.3238/dzz.2012.0170-0176

1 Einleitung

Implantate für die zahnärztliche Versorgung werden in den unterschiedlichsten Situationen nach Zahnverlust eingesetzt. Einzelkronen, Brücken oder herausnehmbare Prothesen können auf zahnmedizinischen Implantaten verankert werden. Die Planung zur implantologischen Versorgung umfasst die Auswahl und Positionierung der Implantate und berücksichtigt prothetische und anatomische Kriterien. Im einfachsten Fall ist das ortsständige Knochenangebot ausreichend für eine optimale Implantatpositionierung [11]. Allerdings verringert eine nach Zahnverlust einsetzende Atrophie des Alveolarfortsatzes das Knochenangebot, so dass für eine optimierte Implantatverteilung eine genaue Analyse des Kieferknochens erforderlich ist. Die zentrifugal ausgerichtete Atrophieentwicklung im Oberkiefer in Kombination mit der zentripetal ausgerichteten Atrophieentwicklung im Unterkiefer erschweren durch ihren gegensätzlichen Verlauf die Festlegung der geeigneten Implantatpositionen zusätzlich.

Eine klinische Untersuchung, Palpation und parodontale Sondierung sind Grundbausteine der Implantatplanung und liefern erste Informationen zu Form und Größe des Alveolarfortsatzes. Diese Informationen können durch Erkenntnisse aus zweidimensionalen oder dreidimensionalen Röntgenuntersuchungen ergänzt werden.

Zur dreidimensionalen radiologischen Diagnostik setzt sich zusehends die dentale Volumentomographie durch, die auch als Kegelstrahl- oder Cone-Beam-CT bezeichnet wird [10, 11].

In diesen hochauflösenden dreidimensionalen Darstellungen kann das knöcherne Angebot sowie die relevante Anatomie dargestellt und metrisch exakt vermessen werden. Diese Information kann um die prothetische Komponente ergänzt werden, indem der Patient während der Aufnahme ein radiopaques Wax-up trägt. Diese sogenannte Scanschablone wird zuvor aus Barium-Suflat vom Zahntechniker hergestellt und stellt die geplante prothetische Lösung dar [5]. Nach der dreidimensionalen Aufnahme steht somit eine integrierte Darstellung der anatomischen Situation wie auch eine Darstellung der prothetischen Planung zur Verfügung.

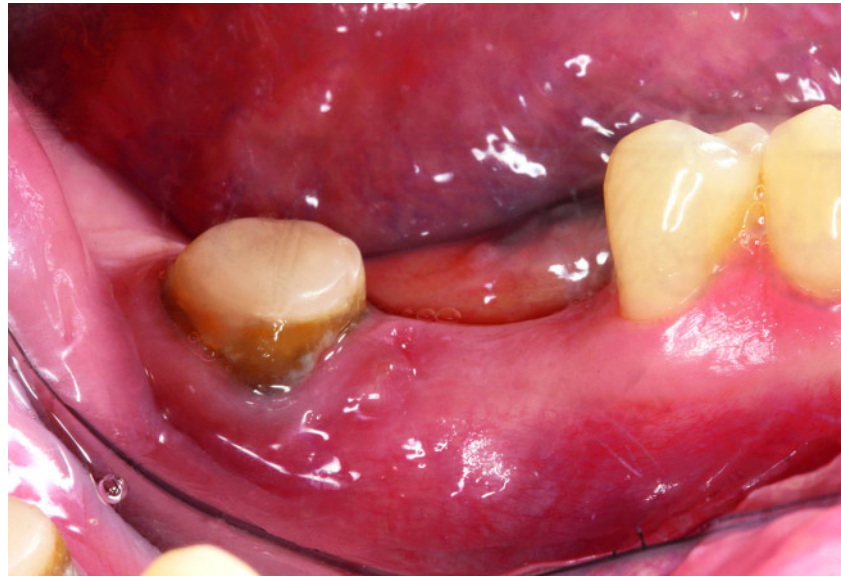


Abbildung 1 Klinische Ausgangssituation.

Figure 1 Clinical situation prior to treatment.

Zahlreiche Planungsprogramme stehen zur Verfügung, die es dem Behandler nun ermöglichen, aus den gewonnenen Informationen eine optimale Implantatplanung zu erstellen und aus dieser eine Bohrschablone zu generieren [2, 6].

Bei diesem Verfahren treffen traditionelle Zahntechnik und moderne 3D Bildgebung aufeinander, womit nur ein Arm der sogenannten computerunterstützten Implantologie wirklich digital ist. Andererseits hat die digitale Zahnheilkunde auf dem Gebiet der CAD/CAM-Restaurationen in den vergangenen Jahren erhebliche Fortschritte gemacht: Hochauflösende optische Abformungen der oralen Situation direkt am Patienten finden zunehmend Verbreitung. Zudem werden nicht nur Restaurationen für einzelne Zähne, sondern auch komplexe Versorgungen mit Hilfe von CAD/CAM gefertigt.

Die Kombination aus digitaler prothetischer und chirurgisch-implantologischer Planung böte zudem eine Reihe von Vorteilen. Zum einen entfallen zahntechnische Arbeiten und entsprechender Aufwand. Es kann durch moderne online Kommunikation iterativ digital geplant werden und, eines der größten Probleme, die Passung der Scan-, und Bohrschablonen, könnte erhöht werden. Weiterhin könnte durch eine digitale prothetische Planung der Arbeitsablauf verändert werden, sodass

Restaurationen, „chair-side“ gefertigt, direkt nach der Implantation als Sofortversorgung hochpräzise zur Verfügung stehen.

Um diese Ziele verwirklichen zu können, muss aber zunächst eine Integration von Daten aus unterschiedlichen digitalen Quellen gelingen. CAD/CAM-Daten müssen mit Daten der DVT fusioniert werden, um so eine kombinierte digitale Planung von Prothetik und Chirurgie vornehmen zu können.

Ziel dieses Beitrages ist es, die Integration virtueller prothetischer Daten auf der Grundlage von CEREC-Scans (Sirona, Bensheim, Deutschland) mit dreidimensionalen Röntgendaten (Galileos, Sirona, Bensheim, Deutschland) sowie deren Verwendung zur virtuellen Implantatplanung mittels der Planungssoftware Sirona Implant (Sicat, Bonn, Deutschland) vorzustellen.

2 Materialien und Methoden

In diesem Abschnitt wird ein möglicher Ablauf für die Planung von Dentalimplantaten auf der Grundlage von dreidimensionalen Röntgendaten und virtuellen Gipsmodellen vorgestellt, die mit dem Cerec-System erstellt wurden. Die einzelnen Schritte hierzu werden in den jeweiligen Unterabschnitten ausführlich erläutert.

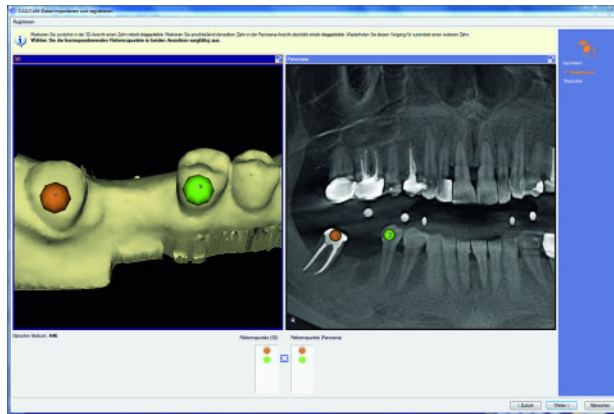


Abbildung 2 Registrierung der CAD/CAM- und DVT-Datensätze in der Software.

Figure 2 Registration of CAD/CAM and CBCT data.

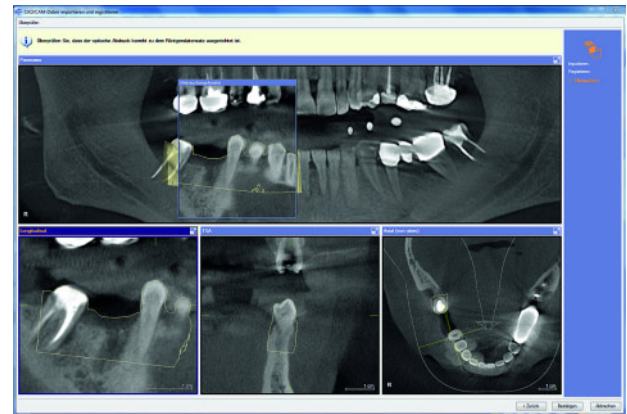


Abbildung 3 Überprüfung der Registrierungs-genauigkeit – hier kann der Benutzer visuell die erreichte Genauigkeit beim Registrierungsprozess überprüfen.

Figure 3 Checking the registration accuracy visually.

2.1 Dentale Volumentomografie (DVT)

Die Bilddatenerfassung erfolgte mit einem digitalen Volumentomographen (Galileos, Sirona), der speziell für Aufnahmen im dentalen und maxillofazialen Bereich bestimmt ist. Dieser Scanner besteht aus einem Röntgengenerator und einem 2D-Detektor, die einander gegenüberliegend auf einem U-förmigen Arm angeordnet sind. Die Strahlenquelle/Detektoreinheit vollzieht eine 210-Grad-Rotation um den Kopf des Patienten und erzeugt dabei 200 Einzelaufnahmen. Während der Untersuchung sitzt oder steht der Patient im Zentrum der Rotation. Die Position des Kopfes im Aufnahmebereich wird entweder durch eine Kinnstütze bestimmt oder durch eine Zahnschiene, die die Okklusionsebene definiert. Das Gerät ist ähnlich kompakt wie ein digitales Panoramaröntgengerät und hat am Aufstellort einen Platzbedarf von $1,8 \times 1,8 \times 2,5$ m.

Das Aufnahmevolumen beträgt $15 \times 15 \times 15$ cm. Die entsprechenden Voxelkantenlängen betragen 0,3 bzw. 0,15 mm im Hochauflösungsmodus. Die Rekonstruktion der Aufnahme zu einem dreidimensionalen Volumen dauert etwa 2,5 Minuten.

2.2 3D-Oberflächenscan: Die optische Abformung

Die Datenerfassung zur Erstellung eines virtuellen Modells der intraoralen Situation erfolgte mittels einer opti-

schen Abformung beim Patienten. Zunächst wird zur Optimieren der optischen Abformung der zu erfassende Bereich durch Aufbringen von Pulver vorbereitet. Dies verbessert das Reflexionsverhalten der intraoralen Situation. Für die Versorgung von Zahnlücken werden mehrere optische Abformungen benötigt, die nicht nur den Bereich der Lücke selbst, sondern auch die benachbarten Zähne umfassen müssen. Diese werden anschließend automatisch zusammengerechnet, um so ein in seiner Gesamtheit größeres virtuelles Modell zu erstellen. Zur Vermessung wird ein Raster aus parallelen schwarzen und hellen Streifen (von je 250 μ m Breite) unter einem Parallaxenwinkel auf die gepuderte intraorale Situation projiziert. Entsprechend dem bekannten Triangulationsprinzip kann eine CCD-Kamera die tiefenabhängigen Verschiebungen der Linien aufzeichnen. Nach dem von Mörmann und Mitarbeitern [8] entwickelten Konzept kann der Zahnarzt dabei die Intraoralkamera genau wie ein Handstück führen, was für ihn den Vorgang intuitiv macht und effizient ablaufen lässt. Jedoch braucht man mit zunehmender Größe des zahnlosen Bereichs auch eine zunehmende Zahl von optischen Abformungen, was den Vorgang insgesamt kompliziert. In diesen Fällen kann ein mit dem inEos-Gerät eingescanntes konventionelles Gipsmodell verwendet werden, was die optische Abformung erleichtert [7].

2.3 Prothetische Planung mit der Cerec-Software

Nach der Erzeugung des virtuellen Modells liegt eine virtuelle gingivale Oberfläche des Implantatsitus und der benachbarten Zähne vor. Innerhalb dieses virtuellen Modells werden die fehlenden Zähne mit Hilfe der allgemeinen Cerec-Software-Werkzeuge rekonstruiert: Zunächst wird entschieden, ob eine Krone oder Brücke zu modellieren ist. Das Emergenzprofil des Implantats wird durch Einzeichnen eines Kreises als virtuellen Präparationsrand auf der Gingiva definiert. Dabei geht man bereits von dem Durchmesser des geplanten Implantats aus. Der virtuell definierte Präparationsrand dient als Ausgangssituation für die Rekonstruktion der fehlenden Zähne nach dem üblichen Cerec-Verfahren. Zusätzlich kann auch der Antagonist eingescannt und bei der Gestaltung der fehlenden Zähne berücksichtigt werden. Nach abgeschlossener Konstruktion werden die Daten gespeichert und in die Implantatplanungssoftware exportiert, einschließlich der Daten der benachbarten Zähne.

2.4 Integration von Daten aus Galileos und Cerec

Der 3D-Oberflächenscan und der 3D-DVT-Scan liefern einander ergänzende Daten. Jeder dieser Scans repräsentiert unterschiedliche physikalische Eigenschaften der Strukturen im Mund des Patienten. Durch Kombination der

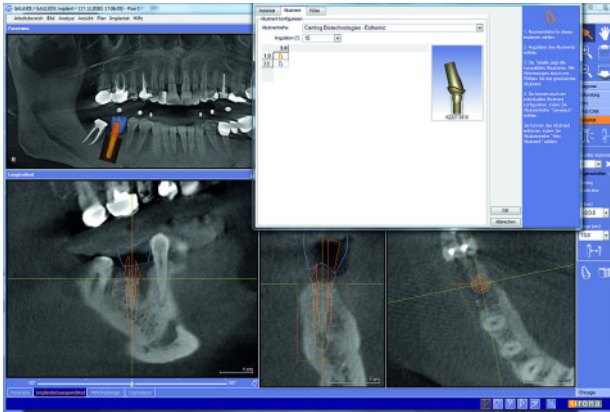


Abbildung 4 Die Implantatplanungssoftware zeigt den virtuellen Zahnersatz und das Implantat. Auch das Abutment kann geplant werden. Messungen können eins-zu-eins und ohne weitere Kalibrierung durchgeführt werden.

Figure 4 The planning software shows virtual prosthetic wax-up and the implant. Abutments can also be planned. Measurements are calibrated.

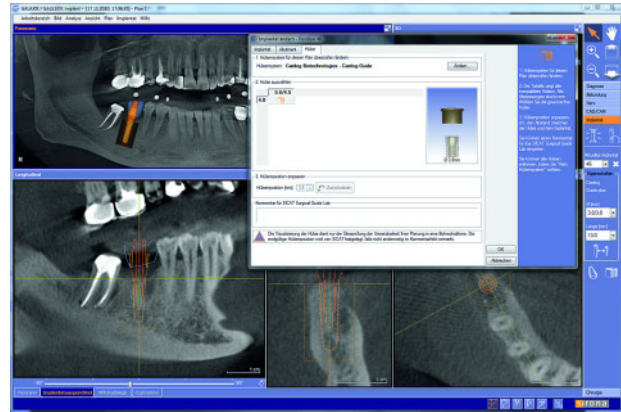


Abbildung 5 Die Planungssoftware visualisiert auch die geplante Position der Bohrhülse.

Figure 5 Visualization of the drill sleeve.

Daten aus beiden Quellen lässt sich ein erheblicher Informationsgewinn erzielen, der neue Vorgehensweisen bei der Behandlung ermöglicht. Bevor jedoch die Daten in integrierter Form weiterverwendet werden können, sind die beiden Scans zu überlagern, da diese eine unterschiedliche Datenstruktur aufzeigen und es nicht möglich ist, den Patienten bei beiden Aufnahmetechniken exakt gleich zu positionieren. Diesen Abstimmungsvorgang nennt man Registrierung. Hierbei werden die Daten des einen Scans so positioniert, dass sie den Daten des anderen Scans exakt räumlich entsprechen und einander entsprechende Strukturen auch exakt die gleiche Position im virtuellen Raum einnehmen.

Ein im Rahmen unserer Arbeit neu entwickelter Algorithmus integriert den 3D-Oberflächenscan in einem halbautomatischen Verfahren in die DVT-Daten. Hierbei ruft der Anwender zunächst die Implantatplanungssoftware auf und öffnet damit die Galileos-Daten und die Cerec-Daten für den Patienten; beide Datensätze werden am Bildschirm visualisiert. Im nächsten Schritt definiert der Anwender einander grob entsprechende Punkte der beiden Datensätze, wofür vorzugsweise die vestibuläre Fläche der an die Zahnücke angrenzenden Zähne gewählt werden sollte. Praktisch sieht das so aus, dass man mit der Maus auf die entsprechenden Punkte der 3D-Ansicht zeigt und klickt. Die Punkte werden zuerst auf dem Cerec-

Modell und dann auf dem DVT-Modell markiert. Ein automatischer Integrationsalgorithmus sucht jetzt iterativ, ausgehend von den markierten Punkten, nach einer optimalen Transformation der Cerec-Daten, dergestalt, dass anschließend eine räumliche Korrelation der beiden Datensätze vorliegt. Der Erfolg dieser Berechnungen kann in den Schnittansichten kontrolliert werden, bei denen die Oberflächen aus dem Cerec-Datensatz auf die DVT-Daten projiziert sind (Abb. 2 und 3).

2.5 Implantatplanung

Nach der Integration der dreidimensionalen DVT-Daten und den virtuellen prothetischen Entwürfen der Cerec- oder Inlab-Software kann man mit der Implantatplanung innerhalb der Implantatplanungssoftware anfangen. Hierbei vermisst der Anwender zunächst das Knochenangebot und kann anschließend die Implantate durch einfache Auswahl aus einer Implantatbibliothek planen. Diese Bibliothek enthält Implantate in realistischer Größe und entspricht in der Darstellung denen auf den STL-Originaldaten, die auch zur Herstellung der Implantate verwendet werden (Abb. 4). Die Implantatbibliothek umfasst die meisten auf dem Markt befindlichen Hersteller und wird fortwährend aktualisiert. Nach Auswahl des Implantats definiert der Anwender die Region durch Angabe der Zahnbezeich-

nung. Das Implantat kann jetzt innerhalb des virtuellen Modells positioniert und beliebig manipuliert werden. Die Software bietet spezielle 2D- und 3D-Darstellungshilfen, die die Implantatplanung erleichtern. Hierbei befindet sich das Implantat stets im Mittelpunkt der Darstellung. Die visuelle Darstellung der sonstigen Daten kann um das zentrale Implantat herum angeordnet werden (Abb. 5). Zusätzliche Hilfsmittel für die Darstellung des Emergenzprofils in Verbindung mit der virtuellen prothetischen Planung erlauben es, die optimale Implantatposition zu bestimmen. Hierdurch können verschiedene Implantatpositionen untersucht und festgestellt werden, ob das Knochenangebot für den geplanten Zahnersatz ausreichend erscheint. Sollte dies nicht der Fall sein, ist entweder eine Augmentation zu erwägen, oder der Anwender kann die prothetische Planung innerhalb der Cerec-Software entsprechend modifizieren. Im Anschluss an die Aktualisierung der Daten für den geplanten Zahnersatz innerhalb der Implantatplanungssoftware kann dann die Relation zwischen Zahnersatz und Implantatposition weiter optimiert werden. Wenn alle Implantate nach Art und Position definiert sind, können die Daten an eine CAD/CAM-Zentrale übermittelt werden, damit auf einer CNC-Fräsmaschine eine Bohrschablone hergestellt wird (Abb. 6). Anschließend kann mit Hilfe des Planungsmodells eine provisorische Versorgung

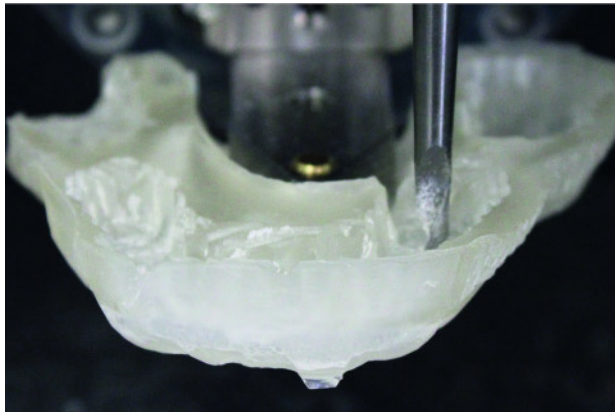


Abbildung 6 Während des Herstellungsprozesses der Bohrschablone wird die bei Cerec aufgenommene Oberfläche der Zähne, die zur Auflage dienen, ausgefräst.

Figure 6 Manufacturing of the drill guide based on CEREC and CBCT data.

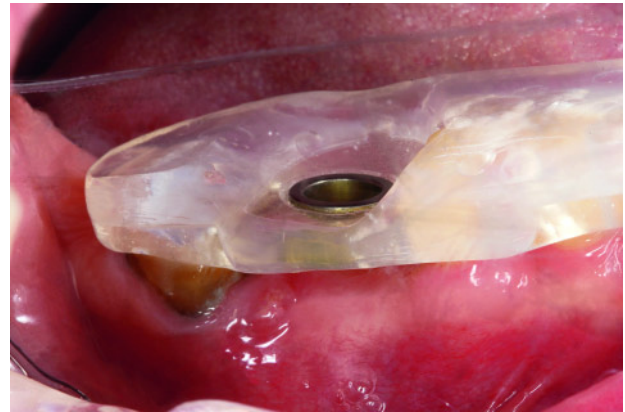


Abbildung 7 Die fertige Bohrschablone in situ.

Figure 7 Drill guide in situ.

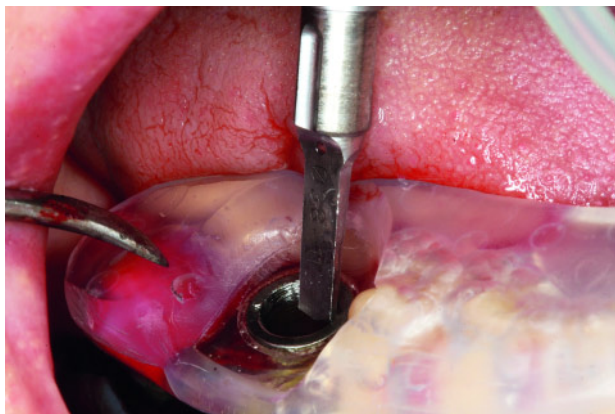


Abbildung 8 3,8 mm Bohrung mit Bohrschablone in situ.

Figure 8 3,8 mm drill and drill guide in situ.

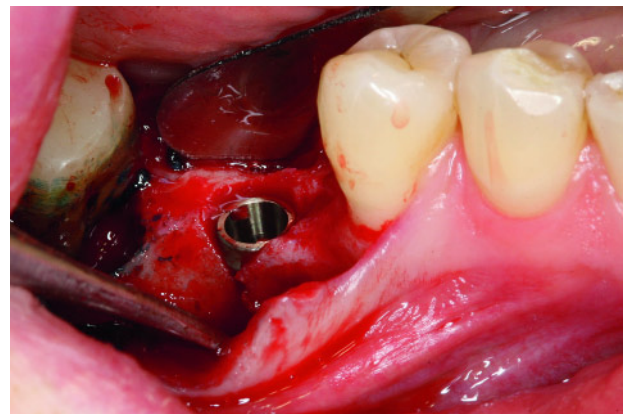


Abbildung 9 Das gesetzte Implantat.

Figure 9 Implant placed.

hergestellt werden, und die Bohrschablone wird für die Insertion der Implantate genutzt.

3 Ergebnisse

Die Kombination von DVT und virtuellen prothetischen Daten wird bereits erfolgreich in der Praxis eingesetzt. Bei Schalllücken von mehr als zwei Zahnbreiten werden die Cerec-Oberflächendaten häufig nicht durch intraorales Scannen, sondern auf der Grundlage von Gipsmodellen gewonnen. Die Integration der dreidimensionalen Cerec- und Galileos-Daten war für alle getesteten Fälle erfolgreich [18]. Die Genauigkeit der Daten erwies sich für implantologische Planungszwecke mehr als

ausreichend. Die Registrierung der beiden Datensätze dauerte jeweils nur wenige Sekunden (die manuelle Definition von Punktensprechungen dauert etwa 15 Sekunden, die anschließende automatische Integration auf einem Standard-PC etwa 5 Sekunden). Die Abbildungen 7–12 zeigen einen klinischen Fall, der mit Hilfe einer CAD/CAM-gestützten Schablone (Optiguide, Fa. Sicat, Bonn) chirurgisch umgesetzt wurde.

Mit dieser Kombination aus virtuellen prothetischen Daten und dreidimensionalen DVT-Daten steht dem Zahnarzt ein völlig neues Hilfsmittel für die Implantatplanung zur Verfügung, das ohne prothetische Modellation durch den Zahntechniker auskommt und damit wesentlich schnellere Abläufe erlaubt. Konkret kann der behandeln-

de Zahnarzt den Patienten bereits in der ersten Behandlungssitzung auf der Grundlage einer individuellen prothetischen und chirurgischen Behandlungsplanung über seine therapeutischen Wahlmöglichkeiten informieren. Die Software erlaubt eine iteratives Vorgehen zur Feinspezifikation des prothetischen Konzepts auf Basis der anatomischen Daten und umgekehrt.

4 Diskussion

Die Integration digitaler Daten aus unterschiedlichen Quellen ist in der Medizin ein bekanntes Konzept [13]. Es lassen sich auf diese Weise unterschiedliche Aspekte komplexer Probleme visualisieren, so dass dem Arzt für seine ther-



Abbildung 10 Präparierter Zahn 47 und das Implantat nach Einheilphase.

Figure 10 Prepared tooth 47 next to the implant after the healing period.

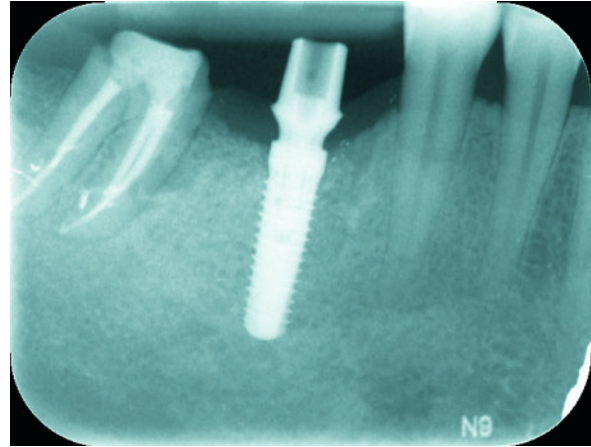


Abbildung 11 Postoperatives Röntgenbild.

Figure 11 Postoperative x-ray.

peutischen Entscheidungen alle erforderlichen Informationen auf einen Blick zur Verfügung stehen.

Das hier beschriebene System wendet dieses Konzept zum ersten Mal auf die virtuelle Planung von Dentalimplantaten an. Gegenüber der herkömmlichen Vorgehensweise bietet dieses System den Vorzug, keinen zahntechnischen Vorlauf zu benötigen. Die Planung kann innerhalb der ersten beratenden Sitzung erfolgen. Alle Elemente der Planung lassen sich interaktiv verändern und können nach einem iterativen Prozess wiederum in die Planung eingehen. Ziel weiterer Entwicklungen könnte sein, diesen Ansatz zu einer individuellen Simulation verschiedener Behandlungsmöglichkeiten und Behandlungsergebnisse auszubauen. Die Funktion des hier beschriebenen Systems beschränkt sich momentan auf die Visualisierung eines Behandlungsergebnisses. Zukünftig denkbare Behandlungssimulatoren würden auch funktionelle Daten berücksichtigen und so dazu beitragen, dass die Implantatbehandlung für Zahnarzt und Patienten vorhersehbarer wird. Dies würde jedoch eine Digitalisierung sämtlicher Arbeitsschritte in hoher Qualität und Genauigkeit erfordern.

Dreidimensionale bildgebende Verfahren können heute die Implantatplanung unterstützen. Sie machen es möglich, die Notwendigkeit und gegebenenfalls das Ausmaß einer Knochenaugmentation ganz am Anfang der Therapie zu bestimmen. Weiterhin lassen sich da-

mit auch schwierige anatomische Situationen korrekt wiedergeben, so dass chirurgische oder prothetische Komplikationen vermieden werden können. So kann der chirurgische Eingriff selbst minimal-invasiv gestaltet werden.

Dreidimensionale bildgebende Verfahren sind in komplexen Fällen mit anatomischen Varianten oder atypischer Morphologie, nach Unfällen, Tumorsektionen oder umfangreichen Rekonstruktionen von Alveolarkammdefekten regelmäßig indiziert. In Abhängigkeit von der Morbidität des Patienten lässt sich unter Umständen auch eine ansonsten erforderliche Augmentation durch eine entsprechende präope-

rative Diagnostik vermeiden, weil das Knochenangebot optimal ausgenutzt werden kann und Implantate auch dort gesetzt werden können, wo das Knochenangebot zwar gering, aber doch noch eben ausreichend ist [1].

Die dreidimensionale Implantatdiagnostik mittels DVT bietet hierbei eine umfangreiche radiologische Untersuchung bei einer im Vergleich zum klassischen CT geringeren Strahlendosis [4]. Trotz der geringeren Exposition ist die Präzision des DVT innerhalb der Gewebediagnostik Dank der dynamischen Computerunterstützung vergleichbar mit der des CT [16]. Da die Präsenz dieser Technik in den zahnärztlichen Pra-



Abbildung 12 Fertige Restaurationen in situ.

Figure 12 Finished restoration in situ.

(Abb. 1–12: L. Ritter)

zen bereits heute hoch ist und immer noch zunimmt, kann in vielen Fällen der Zahnarzt die Patientendaten unmittelbar nach dem Scan sichten. Dies wird durch die zunehmende Zahl an Gerätevarianten weiter unterstützt. So stehen insbesondere Geräte zur Verfügung, die auch eine Kombination aus DVT und OPG und/oder Cephalogram anbieten. Diese Geräte eignen sich durch ihre vielseitige Einsetzbarkeit auch für die nicht spezialisierte Praxis. Vorteilhaft ist dabei, dass das DVT in Kombination mit virtuellen prothetischen Entwürfen, wie in dieser Arbeit beschrieben, die Möglichkeit bietet, dem Patient bereits in der ersten Sitzung konkrete Therapievor schläge und auch schon eine erste grobe Kostenabschätzung zu unterbreiten.

Weiterhin ermöglicht die 3D-Diagnostik eine optimale Vorbereitung des chirurgischen Eingriffs, zum einen durch die vorab abzuschätzende Größe der Implantate aber auch durch die tatsächliche dreidimensionale Darstellung solcher Befunde, die sonst oft erst intraoperativ gesehen werden können. Da nicht, wie bei konventionellen Röntgenaufnahmen häufig, eine zweite Ebene

oder weitere Aufnahmen erforderlich sind, unterscheiden sich die Summen der Strahlenexpositionen im Vergleich nicht wesentlich voneinander.

Auch im Rahmen der Sofortbelastung von Implantaten könnte das beschriebene System Vorzüge haben [12, 15]. Unter Berücksichtigung der prothetischen Planung wäre es denkbar, bereits im Voraus ein Provisorium zu produzieren und dieses direkt nach dem Setzen des Implantats einzugliedern. Der Einsatz dieser Technik könnte somit die Patientenzufriedenheit deutlich steigern [3]. Das iterative Vorgehen unter Einbeziehung des Labors mit Kunststoffprovisoren, die erst im Mund richtig angepasst werden, könnte durch ein einziges computerbasiertes System ersetzt werden.

5 Schlussfolgerung

Im Vergleich zu anderen derzeit auf dem Markt angebotenen Systemen bietet der gezeigte Ansatz den Vorteil rationellerer Abläufe ohne externe Beteiligung und eine mögliche dezentrale Herstellung von Schablonen und

Zahnersatz. Andere Systeme erfordern zwei vollständige dreidimensionale Scans: einmal vom Patienten mit der Wachsmodellation und einmal von der Wachsmodellation selbst. Die möglichen Folgen sind ein erhöhter radiologischer Aufwand mit der damit verbundenen erhöhten Strahlenbelastung der Umwelt, mögliche Integrationsfehler und kostenintensive Arbeitsschritte im Labor [9, 17]. DZZ

Interessenkonflikt: Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Korrespondenzadresse

Dr. Dr. Lutz Ritter
Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie und Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie der Uniklinik Köln
Kerpener Straße 62
50937 Köln
Tel.: 0221/478-86229
E-Mail: lutz.ritter@uk-koeln.de

Literatur

- Chen LC et al.: Comparison of different methods of assessing alveolar ridge dimensions prior to dental implant placement. *J Periodontol* 79, 401–405 (2008)
- Ewers R et al.: Computer-aided navigation in dental implantology: 7 years of clinical experience. *J Oral Maxillofac Surg* 62, 329–334 (2004)
- Ganz SD: Computer-aided design/computer-aided manufacturing applications using CT and cone beam CT scanning technology. *Dent Clin North Am* 52, 777–808, vii. (2008)
- Hatcher DC, Dial C, Mayorga C: Cone beam CT for pre-surgical assessment of implant sites. *J Calif Dent Assoc* 31, 825–833 (2003)
- Israelson H et al.: Barium-coated surgical stents and computer-assisted tomography in the preoperative assessment of dental implant patients. *Int J Periodontics Restorative Dent* 12, 52–61 (1992)
- Jeffcoat M et al.: Planning interactive implant treatment with 3-D computed tomography. *J Am Dent Assoc* 122, 40–44 (1999)
- Kurbad A, Reichel K: InEOS – new system component in Cerec 3D. *Int J Comput Dent* 8, 77–84 (2005)
- Mormann WH, Brandestini M, Lutz F: The Cerec system: computer-assisted preparation of direct ceramic inlays in 1 setting. *Quintessenz* 38, 457–470 (1987)
- Moshirfar A et al.: Computed tomography evaluation of superior-segment facet-joint violation after pedicle instrumentation of the lumbar spine with a midline surgical approach. *Spine* 31, 2624–2629 (2006)
- Mozzo P et al.: A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 8, 1558–1564 (1998)
- Neugebauer J et al.: Three-dimensional diagnostics, planning and implementation in implantology. *Int J Comput Dent* 9, 307–319 (2006)
- Nikzad S, Azari A: Computer-assisted implant surgery; a flapless surgical/immediate loaded approach with 1 year follow-up. *Int J Med Robot* 4, 348–354 (2008)
- Pelizzari CA et al.: Accurate three-dimensional registration of CT, PET, and/or MR images of the brain. *J Comput Assist Tomogr* 13, 20–26 (1989)
- Proceedings of the third ITI (International Team for Implantology) consensus conference. Gsaat, Switzerland, August 2003. *Int J Oral Maxillofac Implants* 19(Suppl), 7–154 (2004)
- van Steenberghe D et al.: 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 multicenter study. *Clin Implant Dent Relat Res* 7(Suppl. 1), 111–120 (2005)
- Wagner A et al.: Computer-aided placement of endosseous oral implants in patients after ablative tumour surgery: assessment of accuracy. *Clin Oral Implants Res* 14, 340–348 (2003)
- Yong LT, Moy PK: Complications of computer-aided-design/computer-aided-machining-guided (NobelGuide) surgical implant placement: an evaluation of early clinical results. *Clin Implant Dent Relat Res* 10, 123–127 (2008)
- Ritter L, Reiz SD, Rothamel D et al.: Registration accuracy of three-dimensional surface and cone beam computed tomography data for virtual implant planning. *Clin Oral Implants Res*. 2011 Apr 13. doi: 10.1111/j.1600-0501.2011.02159.x. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 21488966.