

Anja Liebermann, Christoph Pache, Josef Schweiger, Bogna Stawarczyk, Karin C. Huth

3-D-Echtzeitnavigationssystem im digitalen Workflow zur Implantation und prothetischen Versorgung eines Einzelzahnimplantats

Ein Fallbericht zum Einsatz des innovativen Denacam-Systems



INDIZES

3-D-Echtzeitnavigationssystem, Denacam-System, Einzelzahnversorgung, Implantation, digitaler Workflow, Scanbody, Titanklebebasis, 3-D-gedrucktes Arbeitsmodell

ZUSAMMENFASSUNG

Eine präoperative Planung der Implantatposition vereinfacht sowohl die Implantation als auch die prothetische Versorgung. Es stehen verschiedene Planungsoptionen zur Verfügung – von der Freihandimplantation mit vorheriger Planung mittels Panoramaschichtaufnahme (PSA) und Positionierungsschiene bis hin zu vollnavigierten statischen Bohrschablonen. Daneben gibt es die computergestützten dynamischen Navigationssysteme, die sich wie die vollnavigierten Bohrschablonen auf einen 3-D-Datensatz stützen. Das dynamische Echtzeitnavigationssystem Denacam-System (Fa. mininavident, Liestal, Schweiz; CE Zertifizierung seit 2018) verwendet intraoral einen kleinen, konfektionierten keramischen Marker, um die geplante Implantat- und Echtzeitposition des Implantatbohrers während des Bohrprozesses aufeinander abzustimmen. Während der Implantatbohrung sieht der Behandler auf einem Bildschirm die zeitgetreue Bohrerposition im 3-D-Datensatz zusammen mit der Planung sowie einer Zielgrafik (Abweichung in Winkel, Tiefe und Eintrittspunkt). Im folgenden Patientenfall werden ein digitaler Workflow zur implantologischen Versorgung einer Einzelzahnlücke unter Anwendung des Denacam-Systems und die anschließende prothetische Versorgung beschrieben.

Manuskripteingang: 11.03.2019; Annahme: 12.07.2019

Einleitung

Für die Insertion von Implantaten gibt es verschiedene Vorgehensweisen. Die Freihandimplantation wird mit rund 95 % bei Weitem am häufigsten angewandt, oft in Kombination mit der Erstellung von Gipsmodellen und einer PSA als Basis für die Planung der Implantatposition^{1,2}. Der Erfolg der Freihandimplantation beruht vornehmlich auf der jeweiligen Erfahrung des Implantologen³. Die kor-

rekte Übertragung der Planung auf die intraorale Situation ist schwierig, da sie der visuellen Einschätzung unterliegt und der Operateur die zweidimensionale Bildgebung auf die dreidimensionale Situation im Mund übertragen muss⁴. Darüber hinaus gibt es statische Bohrschablonen und computergestützte dynamische Navigationssysteme, die sich auf einen 3-D-Datensatz der anatomischen Situation eines digitalen Volumentomogramms (DVT), seltener eines Computertomogramms stützen⁵.



Abb. 1 Einzelzahn-röntgenbild vor Exzision von Zahn 34 im Jahr 2018.

Mithilfe einer Planungssoftware kann die Implantatposition unter Berücksichtigung des Knochenangebots, der benachbarten anatomischen Strukturen (z. B. N. alveolaris inferior oder Sinus maxillaris) und prothetischen Aspekten virtuell geplant werden. Das Risiko einer Schädigung von anatomischen Nachbarstrukturen wird folglich verringert^{6,7}. Vollnavigierte statische Bohrschablonen, die subtraktiv mittels CAD/CAM-Technologie⁸ oder additiv mittels 3-D-Druck hergestellt werden, benötigen neben der dreidimensionalen Bildgebung zusätzlich einen (direkten/indirekten) Scan des geplanten Kiefers.

Die dynamischen computergestützten Implantationssysteme erfordern einen Marker, der an den Zähnen bzw. am Alveolarkamm des Patienten befestigt wird. Der Marker muss während des präoperativen DVTs und später auch während der Operation in gleicher Position vom Patienten getragen werden. Der Marker wird während der Operation von einer externen Kamera des Implantatsystems erfasst und dient zur Positionserfassung im dreidimensionalen Raum. Die digitalen Planungsdaten der Implantatposition werden in das dynamische Implantationssystem exportiert. Es kommt zu einem Abgleich zwischen der realen Position des Winkelstücks und Bohrers, der Patientenposition und der Implantatplanung^{3,6}. So kann der Implantationsprozess während der Operation überwacht und Abweichungen zwischen der geplanten und der tatsächlichen Bohrung können zeitgleich dargestellt werden⁶. Ein Vorteil dieser Systeme besteht darin, dass kein zusätzlicher Scan nötig ist und der Behandler intraoperativ alle notwendigen Informationen bezüglich der Anatomie des Operationsgebiets und der Implantatplanung erhält⁹. Dadurch ist bei Bedarf

eine intraoperative Anpassung der Implantatposition möglich^{10,11}. Manche älteren Vertreter der dynamischen Navigationsgeräte benötigen ein Markersystem aus drei Komponenten: zwei größere Marker, von denen einer an den Zähnen/Gingiva/Knochen und der andere am Handstück des Operateurs angebracht wird, sowie eine im Raum freistehende, stereoskopische Kamera. Dabei müssen sich die beiden Marker im Blickwinkel der Kamera befinden (line of sight), was die Bewegungsfreiheit des Operationsteams limitiert und einen erhöhten Platzbedarf erfordert^{3,11,12}.

Das innovative Denacam-System als dynamisches computergestütztes Echtzeitnavigationssystem basiert auf einer Kamera, die direkt am Handstück befestigt ist. Das Markersystem wird ipsi- oder kontralateral an Zähnen mit einem Miniabdrucklöffel bzw. bei Bedarf individuell an knöchernen Strukturen während des DVTs sowie der Implantatbohrung befestigt. Intra operationem kann der Behandler auf einem Bildschirm den dreidimensionalen sagittalen oder horizontalen Abschnitt und/oder die Zielgrafik mit der Information zur aktuellen Abweichung vom geplanten Eintrittspunkt, zum Winkel und zur Tiefe betrachten. Alternativ kann der Marker auch erst nach dem DVT in der Implantatplanungssoftware geplant und eine Markerhalterung ausgedruckt werden.

Im präsentierten Patientenfall sollen ein digitaler Workflow der Versorgung einer Einzelzahnlücke unter Anwendung des Denacam-Systems zur Implantation und die prothetische Versorgung beschrieben werden.

Fallbericht

Anamnese und Diagnostik

Im Juni 2018 stellte sich eine 23-jährige Patientin mit dem Wunsch nach einer implantatgetragenen Krone zum Schluss einer Schalllücke im 3. Quadranten in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie vor. Die Patientin gab an, Zahn 34 sei im Januar 2018 aufgrund einer starken Lockerung in ihrem Heimatland Ecuador extrahiert worden (Abb. 1).

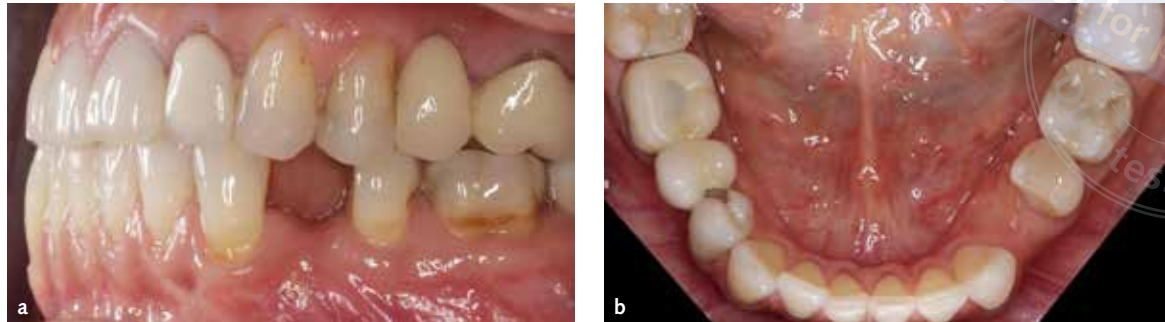


Abb. 2a und b Präoperative intraorale Situation in lateraler (a) und okklusaler (b) Ansicht.



Abb. 3 Intraoral fixierter Zirkonoxidmarker für ein präoperatives DVT.

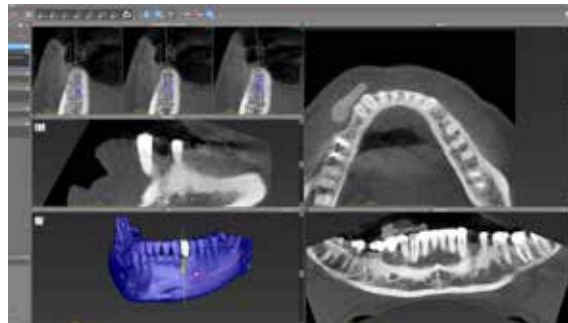


Abb. 4 Planung der 3-D-Implantatposition, basierend auf den DVT-Daten mittels coDiagnostiX Software (Fa. Dental Wings Inc., Straumann).

Die allgemeine Anamnese der Patientin stellte sich unauffällig dar. Die Patientin wurde eingehend über alle alternativen Behandlungsoptionen aufgeklärt (z. B. Brückenversorgung mit verschiedenen Werkstoffmöglichkeiten). Zudem erfolgte eine fundierte Befundung aller Zähne einschließlich des parodontalen Status (PSI), einer Funktionsanalyse mittels Krogh-Poulsen-Test, einer Fotodokumentation (Abb. 2a und b) sowie einer Modellanalyse der Situationsmodelle im Artikulator (Fa. SAM Präzisionstechnik, Gauting) in interkuspider Kontaktposition (IKP). Das Einverständnis der Patientin zur Fotodokumentation und Veröffentlichung wurde eingeholt.

Planung – Denacam-System

Zur digitalen Planung und Implantation mit dem 3-D-Echtzeitnavigationssystem Denacam wurde mit einem Zirkonoxidmarker, der mittels Miniabdruckklöfel kontralateral befestigt wurde (Futar D, Fa. Kettenbach, Eschenburg), ein präoperatives DVT erstellt (Abb. 3).

Basierend auf den DVT-Daten (Voxelgröße $< 250 \mu\text{m}$ erforderlich) wurde zusammen mit der Firma mininavident AG die 3-D-Implantatposition mittels coDiagnostiX Software geplant (Dental Wings Inc., Straumann, Basel, Schweiz, Abb. 4). Diese Planung dient als Grundlage der intraimplantologischen Navigation.

Um den notwendigen Sicherheitsabstand zu den Nachbarstrukturen zu gewährleisten, wurde ein Implantat mit dem Durchmesser 3,3 mm und einer Länge von 10 mm ausgewählt (Bone Level Roxolid SLActive NC, Fa. Straumann).

Unmittelbar vor der Implantatbohrung wurde der Marker mit dem Miniabdruckklöfel intraoral schauelfrei fixiert, der bereits bei der DVT-Aufnahme verwendet wurde.

Implantation

Die Anästhesie des Operationsgebiets erfolgte lokal. Als Operationszugang wurde ein krestaler Mittenschnitt gewählt und zur Darstellung des

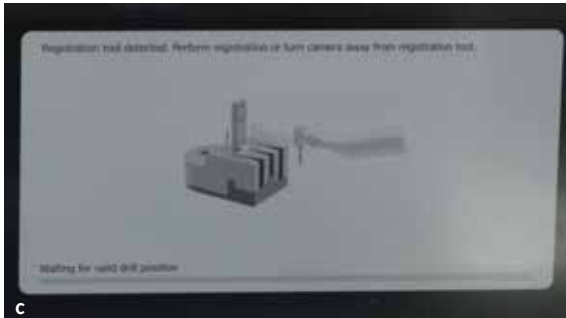


Abb. 5a bis c Registrierung der Formbohrer mithilfe eines Registrierblocks aus Titan: Titanblock zur Registrierung der Bohrer (rechts) mit Zirkonoxidmarker am Miniabdrucklöffel vor intraoraler Anwendung (links) (a); Registrierung eines Bohrers im Titanblock (b); Bildschirm des Denacam-Systems während Registrierung des Bohrers im Titanblock.



Abb. 6 3-D-Echtzeitnavigationssystem (Denacam) mit Implantatplanung im Bildschirm (links) und chirurgischem Handstück mit positionierter Kamera (rechts).

Alveolarkamms ein Mukoperiostlappen gehoben. Nach Ankörnung der geplanten Implantationsstelle erfolgte die Implantatbettauflbereitung entsprechend dem Bohrprotokoll mittels Denacam-System. Vor jeder Bohrung erfolgte eine Registrierung des Rosen- bzw. der Formbohrer mithilfe eines Registrierblocks aus Titan (Abb. 5a bis c).

Abbildung 6 zeigt das aufgebaute Denacam-System vor Implantation und die Abbildungen 7a und b zeigen die visuelle Darstellung der aktuellen Bohrerposition im Verhältnis zur Planung während der Implantatbohrung unter Angabe der Abweichung bezüglich Eintrittspunkt, Angulation und Tiefe innerhalb der Zielgrafik sowie im anteroposterioren bzw. bukkoooralen Schnittbild. Darüber hinaus ist die Positionierung und die Handhabung des Denacam-Systems mit der aufgesetzten

Kamera während der Implantation abgebildet (Abb. 7c und d).

Die Implantateinbringung erfolgte maschinell – aber nicht navigiert, obwohl dies auch möglich ist – und die Endpositionierung mit einem Drehmomentschlüssel. Das Implantat konnte mit 35 Ncm eingebracht werden und zeigte eine sehr gute Primärstabilität. Nach abgeschlossener Implantatbohrung/-insertion (Abb. 8a und b) und Abdeckung mit der Verschlusschraube (Abb. 8c) wurde vom System automatisch ein Implantationsprotokoll erstellt, in dem für jeden verwendeten Bohrer die tatsächliche Position sowie die Abweichung zur initialen Planung beschrieben war.

Entsprechend der Planung wurde das Implantat 1 mm subkrestal platziert. Vor der Rückverlagerung des Mukoperiostlappens erfolgte im Bereich

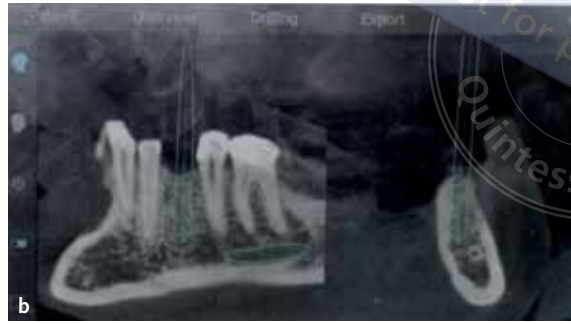
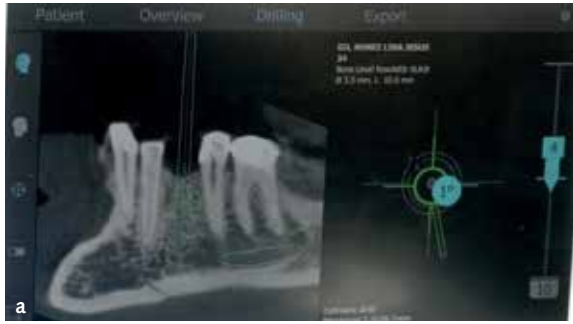


Abb. 7a bis d
 Implantatplanung und -bohrung: Implantatplanung während der Implantatinserion im Sagittalschnitt sowie Angaben der Abweichung zur Planung in einer Zielgrafik (z. B. Winkelabweichung, Tiefe, Eintrittspunkt) (a) und im Sagittalschnitt links und horizontalem Schnitt rechts (b); klinisches Setting während der Implantatbohrung (c); Implantatbohrung mit intraoral fixiertem Marker (d).



Abb. 8a bis e
 Fertige Implantatbohrung vor Implantatinserion (a); maschinelle Implantatinserion (15 U/min) (b); abgeschlossene Implantatinserion mit fixierter Verschlusschraube (c); postoperative Ansicht mit Einzelknopfnähten (d); postoperative PSA zur röntgenologischen Kontrolle der Implantatposition (e).





Abb. 9 Okklusale Ansicht nach chirurgischer Freilegung des Implantats mit Austausch der Verschlusskappe durch einen Gingivaformer (NC, Straumann).



Abb. 10 Intraorale Positionierung des Scanbodies (Fa. Dentsply Sirona) auf intraoral verschraubter Titanklebebasis vor Intraoralscan (Variobase für CEREC, Fa. Straumann).

der vestibulären Implantatschulter die Anlagerung der Bohrspäne. Der Wundverschluss erfolgte mit Einzelknopfnähten (Seralon 5.0, Fa. Serag-Wiessner, Naila,) (Abb. 8d). Abschließend wurde eine postoperative PSA (Abb. 8e) zur Kontrolle erstellt.

Implantatfreilegung

Nach drei Monaten der gedeckten Einheilung wurde das Implantat mit einer Rolllappenplastik freigelegt und anschließend die Einheitschraube durch einen konfektionierten konischen Gingivaformer ersetzt (Abb. 9).

Prothetische Versorgung

Zwei Wochen nach Freilegung des Implantats wurde die Implantatposition mithilfe eines Scanbodies (Fa. Dentsply Sirona, Bensheim, Abb. 10), der auf einer intraoral verschraubten Titanklebebasis (Variobase für CEREC, Fa. Straumann) fixiert war, intraoral gescannt (CEREC Omnicam, Fa. Dentsply Sirona).

Für die Herstellung der verschraubten Lithiumdisilikat-Einzelzahnrestauration (Hybridkrone) auf Titanklebebasis wurden zwei Ganzkieferscans (Unterkiefer ohne Scanbody und Oberkiefer als Gegenkiefer), ein Implantatscan mit fixiertem Scanbody sowie ein lateraler Scan der Schlussbisslage (IKP) erstellt (Abb. 11).

Anhand dieser digitalen Daten wurde die Restauration mit der CEREC Software SW 4.6 (Fa. Dentsply Sirona) digital design (CAD) (Abb. 12).

Die geplante verschraubte Krone wurde aus dem CAD/CAM-Rohling (IPS e.max CAD A16

LT A1, Fa. Ivoclar Vivadent) in einer Schleifeinheit (Sirona InLab MC XL; Fa. Dentsply Sirona) unter konstanter Wasserkühlung herausgeschliffen. Bei dem ausgewählten Restaurationsmaterial handelt es sich um eine Lithiumdisilikatkeramik aus der Gruppe der verstärkten Lithium-X-silikatkeramiken. Diese bestehen hauptsächlich aus zwei Bestandteilen, nämlich Lithiumoxid und Siliziumoxid. Bei dieser Lithiumdisilikatkeramik wurden in die Glasmatrix bis zu ca. 70 Gew% plättchenförmige Lithiumdisilikatkristalle eingebettet, welche für die hohen mechanischen Eigenschaften dieser Keramik verantwortlich sind. Da die CAD/CAM-Blöcke in einem vorkristallisierten Zustand (blaue Farbe) vorliegen, müssen sie im Anschluss an die CAD/CAM-Bearbeitung vollkristallisiert werden. Diese Wärmevorbehandlung findet bei 850°C statt und führt zur Ausbildung der Lithiumdisilikatkristalle und somit auch zum zahnfarbenen Farbumschwung (Abb. 13) sowie dem Erreichen der Endfestigkeit dieser Materialklasse.

Innerhalb des digitalen Workflows wurde die Restauration an einem 3-D-gedruckten Arbeitsmodell (Fa. INFINIDENT Solutions, Darmstadt) mithilfe eines DIM-Laboranalog (DIM Analog 2-teilig, Fa. NT-Trading, Karlsruhe) angepasst und fertiggestellt (Abb. 14 und 15).

Die Überprüfung der Funktion musste dennoch analog mithilfe eines Artikulators vorgenommen werden (Fa. SAM Präzisionstechnik, Gauting), wobei die Approximal- und Okklusalkontakte vor Einprobe/Eingliederung aufgrund des Passungsspielraums des Rotationsschutzes der Titanklebebasis überprüft und angepasst wurden.

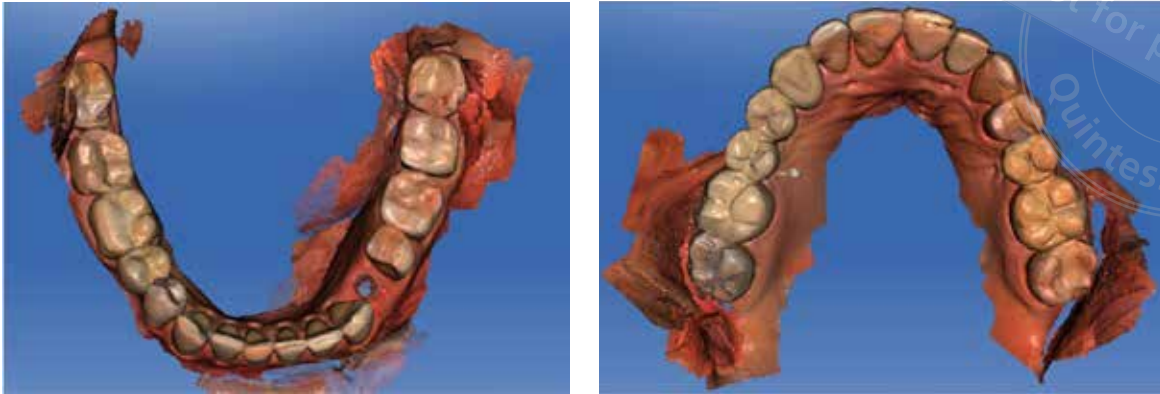


Abb. 11 Intraoralscan in verschiedenen Ansichten (CEREC Omnicam, Fa. Dentsply Sirona).

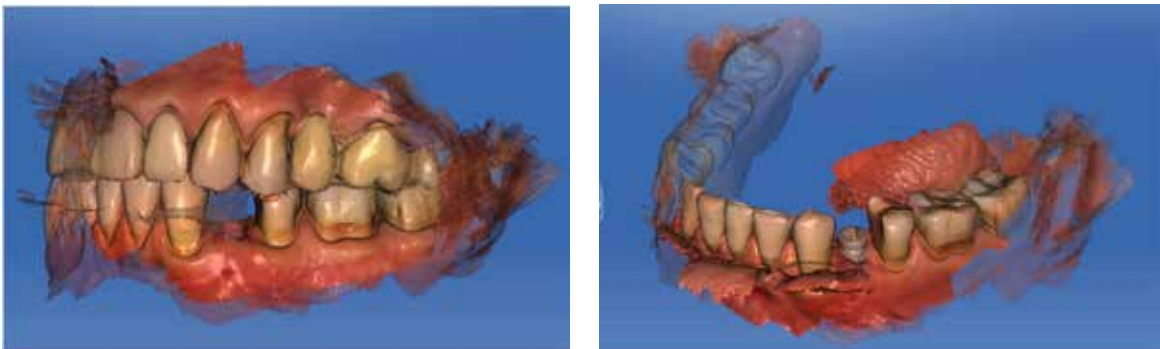


Abb. 12 Digitale Planung der Hybridabutmentkrone in CAD-Software (CEREC Software SW 4.6, Fa. Dentsply Sirona) mit Ansicht der okklusalen/antagonistischen Kontaktpunktrelation.



Abb. 13 Lithiumdisilikatkrone im vorkristallinen Zustand vor Abtrennung vom CAD/CAM-Rohling mit eingesetzter Titankelebasis.



Die Restauration wurde nach der Aufpassung am 3-D-gedruckten Arbeitsmodell mit der Titan-klebebasis (Variobase für CEREC) unter Verwendung des Befestigungskomposits Multilink Hybrid Abutment (Fa. Ivoclar Vivadent, Ellwangen) verklebt (Abb. 16 und 17).

Nach Fertigstellung der Restauration wurde der NC-Gingivaformer entfernt, das Innere des Implantats gesäubert (Chlorhexidin-/Natriumchloridlösung, Spülung und Trocknung) und die Krone mit einem Drehmoment von 35 Ncm nach Herstellerangaben verschraubt. Der Schraubenkanal wurde im unteren Bereich mit einem Teflonband verschlossen und im oberen Bereich mit Tetric EvoFlow A1 (Fa. Ivoclar Vivadent) aufgefüllt.

Das Komposit wurde anschließend 30 s polymerisiert (Satelec MiniLED für KaVo-Einheiten, Fa. KaVo Dental, Biberach), die Okklusion überprüft und auf Hochglanz poliert (Abb. 18a und b und 19).

Diskussion

Die vorliegende Darstellung der Versorgung eines Einzelzahnimplantats beschreibt den digitalen Workflow von der Planung über die in Echtzeit navigierte Implantatinsertion bis hin zur prothetischen Einzelzahnrestauration. Der einzige analoge Arbeitsschritt bestand in der Anpassung der Restauration an einem 3-D-gedruckten Arbeitsmodell, da einerseits aufgrund der Positionierbarkeit der Krone auf der Klebebasis ein gewisses, unvermeidbares Rotationsspiel entsteht und andererseits die approximale Kontaktsituation beim Eingliedern der Krone oftmals zu „approximalen Frühkontakten“ führt. Diese Frühkontakte können derzeit digital nicht simuliert werden. Das verwendete Navigationssystem Denacam ließ sich problemlos in den digitalen Workflow integrieren.

Bei Verwendung von Bohrschablonen zur statischen, vollnavigierten Implantation ist der Fertigungsprozess der Schienen zeit- und kostenintensiv. Der Zeitaufwand der Planung mit einer entsprechenden Software ist für eine schablonengeführte als auch für die freie, dynamische Navigation (Denacam) als gleich anzusehen.

Die Zeitersparnis für die freie Navigation liegt nach Autorenschätzung bei mindestens eineinhalb bis zwei Stunden gegenüber einer schablonengeführten Navigation, wenn die Schablone im Eigenlabor hergestellt werden kann. Da es sich bei einer Bohrschablone um ein Medizinprodukt handelt, gelten strenge Regeln hinsichtlich der Nachbearbeitung im Sinne der Entfernung von überschüssigem Polymer, der Nachhärtung mit Licht als auch der Sterilisation. Zusätzlich muss die Schablone nach Fertigstellung des Drucks nachgearbeitet werden, d. h. Supportstrukturen des Drucks entfernt und ggf. Bohrhülsen eingebracht werden. Besteht keine Möglichkeit im Eigenlabor zu drucken, muss für eine Lieferung von extern mit mindestens 24 Stunden gerechnet werden.

Nachteile bei der Anwendung von Bohrschablonen wurden bereits beschrieben, wie z. B. eine möglicherweise nicht ausreichende Kühlung während des Bohrprozesses in der Bohrhülse der Bohrschablone oder eine mögliche schlechte Passung der Bohrschablonen, die sich mit zunehmender Größe der Bohrschablone steigert^{13,14}. Zudem ist die Größe und Dicke begrenzt durch die limitierte Mundöffnung und etwaige Würgeproblematik des Patienten. Aber auch für die freie Navigation gibt es denkbare Probleme. Es kann während der Navigation vorkommen, dass der Sichtkontakt zwischen Marker und Kamera und somit die Navigation vorübergehend unterbrochen wird, vergleichbar mit Intraoralscannern. Bei Wiederherstellung des Sichtkontakts wird die Navigation jedoch schnell und problemlos wiederhergestellt. Das Kühlwasser stört die Navigation nicht, da sich die Kamera für die Navigation oberhalb des Kühlwasseraustritts befindet. Auch ist das Hin- und Herschauen zwischen Patientensitus und Bildschirm möglicherweise gewöhnungsbedürftig.

Bei den etwas älteren Systemen zur dynamischen Echtzeitnavigation bewirkt die Größe und Position der Kamera eine Bewegungseinschränkung während der Implantatbohrung. Zudem ist der präoperative Workflow der individuellen Anfertigung der großen Marker zeitaufwendig und die Operation dauert insgesamt länger^{8,12,15–18}. Im Gegensatz dazu vereinfacht die Positionierung der Kamera direkt am Handstück beim Denacam-



Abb. 14 3-D-gedrucktes Arbeitsmodell (Fa. INFINIDENT Solutions) mit manuell integrierter Zahnfleischmaske in frontaler Ansicht.



Abb. 15 DIM-Laboranalog (DIM Analog 2-teilig, Fa. NT-Trading) (rechts) mit Titanklebebasis und prothetischer Schraube (Mitte und links).



Abb. 16 Finale Lithiumdisilikatkrone (IPS e.max CAD, Fa. Ivoclar Vivadent) auf Titanklebebasis (Straumann) vor definitiver Eingliederung.



Abb. 17 Finale Einzelzahnrestauration im kristallinen Zustand zur Anpassung der Approximalkontakte und Okklusionsbeziehung in okklusaler Ansicht.



Abb. 18a und b Postprothetische Situation in lateraler (a) und okklusaler (b) Ansicht.

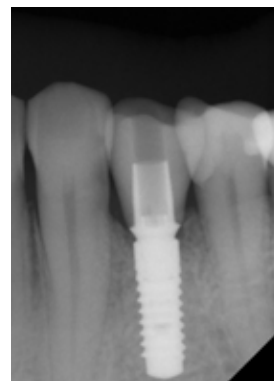


Abb. 19 Postprothetisches Einzelzahnrontgenbild.

System die Sicht auf den Marker. Die Markerposition kann mittlerweile auch nach der Anfertigung des DVTs digital geplant und eine zugehörige Positionierungshilfe per 3-D-Druck erstellt werden, in die der Marker eingeklickt und die intra operationem am Patienten fixiert wird. Dies stellt auch eine Vereinfachung im Workflow dar. Der Marker muss jedoch während der Implantation stabil im Mund des Patienten fixiert sein, da es sonst zu Ungenauigkeiten der späteren Implantatposition, verglichen mit der präoperativen Planung, kommen kann. Die Markerpositionierung erfordert beim Behandler eine gewisse Vorplanung in Bezug auf die Handhabung des chirurgischen Handstücks bei der Implantatbohrung, da die Kamera den Marker gut erfassen muss. Zudem bedeutet sie ein etwas höheres Gewicht (97 g). Jedoch stört das erhöhte Gewicht oder der intraoral fixierte Marker die eigentliche Implantation nach Erfahrung der Autoren nicht. Der zusätzliche Zeitaufwand für die Registrierung jedes verwendeten Bohrers im Registrierblocks liegt im Sekundenbereich und kann daher eher vernachlässigt werden.

Eine Limitation des Denacam-Systems liegt in der Anwendung am zahnlosen Kiefer. Es gibt bisher kein stehendes Procedere für die Positionierung des Markers. Erfindergeist ist gefragt. Möglicherweise könnten Miniimplantate verwendet werden. Hier stoßen jedoch ebenso die anderen dynamischen Navigationssysteme wie auch die Bohrschablonen an ihre Grenzen.

Der digitale Workflow der prothetischen Versorgung könnte noch abgekürzt werden, wenn bereits direkt bei der Implantation ein Intraoralscan mit einem Scanbody durchgeführt wird (Münchener Implantat Konzept, MIC)^{19,20}. Bei der Implantatfreilegung wäre dann bereits die definitive Eingliederung der Implantatsuprakonstruktion möglich.

Es bleibt spannend, welche Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Echtzeitnavigation noch folgen werden. Beispielsweise wäre an eine Erweiterung des Anwendungsgebiets in den Bereich der navigierten Wurzelspitzenresektion oder bei schwierigen endodontologischen Behandlungen zu denken.

Literatur

1. Block MS, Emery RW. Static or dynamic navigation for implant placement-choosing the method of guidance. *J Oral Maxillofac Surg* 2016;74:269–277.
2. Block MS, Emery RW, Cullum DR, Sheikh A. Implant placement is more accurate using dynamic navigation. *J Oral Maxillofac Surg* 2017a;75:1377–1386.
3. Block MS, Emery RW, Lank K, Ryan J. Implant placement accuracy using dynamic navigation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2017b;32:92–99.
4. Canullo L, Tallarico M, Radovanovic S, Delibasic B, Covani U, Rakic M. Distinguishing predictive profiles for patient-based risk assessment and diagnostics of plaque induced, surgically and prosthodontically triggered peri-implantitis. *Clin Oral Implants Res* 2016;27:1243–1250.
5. Emery RW, Merritt SA, Lank K, Gibbs JD. Accuracy of dynamic navigation for dental implant placement-model-based evaluation. *J Oral Implantology* 2016;42:399–405.
6. Gaggl A, Schultes G, Kärcher H. Navigational precision of drilling tools preventing damage to the mandibular canal. *J Craniomaxillofac Surg* 2001;29:271–275.
7. Gulinelli JL, Ferreira EJ, Kuabara MR, Mattos TB, Mattos JB, Germano EJ, dos Santos PL. Accuracy of computer-guided surgery. *Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral* 2016;9:91–94.
8. Harris D, Horner K, Gröndahl K, Jacobs R, Helmrot E, Benic GI, Bornstein MM, Dawood A, Quirynen M. E.A.O. guidelines for the use of diagnostic imaging in implant dentistry 2011. A consensus workshop organized by the European Association for Osseointegration at the Medical University of Warsaw. *Clin Oral Implants Res* 2012;23:1243–1253.
9. iData Research Inc. European markets for dental implants, final abutments and computer guided surgery. www.idataresearch.net 2011.
10. Kang SH, Lee JW, Lim SH, Kim YH, Kim MK. Verification of the usability of a navigation method in dental implant surgery: in vitro comparison with the stereolithographic surgical guide template method. *J Craniomaxillofac Surg* 2014;42:1530–1535.
11. Luckey R, Kniha H, Benner K. Die Effizienzsteigerung der Implantatpositionierung mit dem Navigationssystem RoboDent in der Oberkieferprämolarenregion im Vergleich zur bohrschablonengeführten Implantation. *Z Zahnärztl Implantol* 2006;22:154–163.
12. Marmulla R, Brief J, Heurich T, Mühling J, Hassfeld S. Perspektiven in der rechnergestützten Implantologie. *Z Zahnärztl Implantol* 2002;18:152–158.
13. Miller RJ, Bier J. Surgical navigation in oral implantology. *Implant Dent* 2006;15:41–47.
14. Mosch F. Retrospective multicenter study on navigated implantology. Dissertation, Berlin: Medizinische Fakultät der Charité, 2006.
15. Somogyi-Ganss E, Holmes HI, Jokstad A. Accuracy of a novel prototype dynamic computer-assisted surgery system. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:882–890.
16. Schneider D. Computergestützte chirurgische 3D-Planung und schablonengeführte Implantation. *Praxis (Bern 1994)* 2016;105:1381–1387.
17. Weibrich G, Wagner W. Surgical treatment. *Implantologie. München Urban & Fischer, Elsevier, 2004:99–157.*

18. Zhou W, Liu Z, Song L, Kuo CL, Shafer DM. Clinical factors affecting the accuracy of guided implant surgery – a systematic review and meta-analysis. *J Evid Based Dent Pract* 2018;18:28–40.
19. Beuer F, Groesser J, Schweiger J, Hey J, Güth JF, Stimmelmayr M. The Digital One-Abutment/One-Time Concept. A Clinical Report. *J Prosthodont* 2015;24:580–585.
20. Schubert O, Beuer F, Güth JF, Nold E, Edelhoff D, Metz I. Two digital strategies in modern implantology - root-analogue implants and the digital one-abutment/one-time concept. *Int J Comput Dent* 2018;21:115–131.



Digital workflow with innovative Denacam- 3D real-time navigation system for implantation and prosthetic restoration of a single-tooth implant

A case report

KEYWORDS

3D real-time navigation system, Denacam system, single tooth restoration, implantation, digital workflow, scan body, lithium disilicate, titanium base, 3D-printed model

ABSTRACT

Preoperative planning of the implant position simplifies both the implantation itself and its prosthetic restoration. Various planning options are available - from freehand implantation with or without prior planning using panoramic view and positioning splint to fully navigated static drilling templates. There are also computer-aided dynamic navigation systems, which, like the fully navigated drilling templates, are based on a three-dimensional data set. A new dynamic real-time navigation system (Denacam System, mininavident AG) has been on the market since 2018. In order to coordinate the patient position with the planned implant position and the real-time position of the implant drill during the drilling process, a small, intraoral, prefabricated ceramic marker is used. During implant drilling, the dentist sees the drill position on a screen in a three-dimensional data set (sagittal and transversal sectional view) together with the planning and a target graphic (deviation in angle, depth and entry point). The following patient case describes a digital workflow for single-tooth gap restoration using the Denacam implantation system and prosthetic restoration.



Anja Liebermann

Anja Liebermann

PD Dr. med. dent. M.Sc.
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
Klinikum der Universität München
Ludwig-Maximilians-Universität München
Goethestraße 70
80336 München

Christoph Pache

Dr. med. Dr. med. dent.
Praxis für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie
und Oralchirurgie
Dr. med. Wolfgang Hauck
Cuvilliesstraße 14a
81679 München

Josef Schweiger

Zahntechniker, M.Sc.
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

Bogna Stawarczyk

PD Dr. rer. biol. hum. Dipl. Ing (FH), M.Sc.
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

Karin C. Huth

Prof. Dr. med. dent., MME
Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie

Alle drei:
Klinikum der Universität München
Ludwig-Maximilians-Universität München
Goethestraße 70
80336 München

Korrespondenzadresse:

Dr. Anja Liebermann, E-Mail: Anja.Liebermann@med.uni-muenchen.de