

Taskin Tuna, Sara Setlaoui, Felix Bußmeier, Stefan Wolfart

Statisch navigierte Implantationsschablonen im zahnlosen Kiefer im digitalen Workflow

INDIZES

Backward-Planning, statische Navigation, Bohrschablone, navigierte Implantologie, digitaler Workflow, digitale Volumetomografie, CAD/CAM, 3-D-Druck, Implantatprothetik, Sofortversorgung

ZUSAMMENFASSUNG

Die prothetisch orientierte Implantologie basiert auf einer präoperativen dreidimensionalen Planung der Implantatposition, um optimale funktionale, biologische und ästhetische Ergebnisse zu erzielen. Durch optische Scanner, digitale Volumetomografie, Planungssoftware und CAD/CAM-Verfahren kann die Implantatplanung sowie die Anfertigung statischer Navigationsschablonen ohne den Einsatz physischer Modelle erfolgen. Während im teilbezahnten Kiefer Nachbarzähne als Referenzpunkte dienen, erschwert das Fehlen fester Strukturen im zahnlosen Kiefer die Planung und Durchführung der Implantation. Deshalb weisen schablonennavigierte Implantationen im zahnlosen Kiefer größere Abweichungen auf als im teilbezahnten Kiefer. Anhand klinischer Fälle wird der digitale Workflow im zahnlosen Kiefer demonstriert, wobei der Fokus auf der CAD/CAM-gestützten Planung und Herstellung fixierbarer Bohrschablonen sowie der Implantation mit anschließender Sofortversorgung liegt. Hierfür eignen sich besonders sogenannte Stapelschablonen. Der digitale Workflow ist in der Vorbereitung zeitintensiv, verkürzt jedoch die OP-Zeit und ermöglicht eine Sofortversorgung.

Manuskripteingang: 02.10.2024, Annahme: 23.10.2024

Einleitung

Die prothetisch orientierte Implantologie, auch bekannt als Backward-Planning, bei der die Implantatposition präoperativ dreidimensional anhand eines definierten prothetischen Ziels geplant wird, ist entscheidend für optimale funktionale, biologische und ästhetische Ergebnisse¹⁻³. Ebenso wichtig für den Langzeiterfolg und die Stabilität des periimplantären Weich- und Hartgewebes ist die präzise Umsetzung dieser Planung in die exakte 3-D-Positionierung des Implantats³⁻⁶. Ungenaue Platzierungen oder eine ungünstige Implantattiefe und -angulation, die Kompromisse bei der prothetischen Suprakonstruktion erfordern, können die Haltbarkeit des Zahnersatzes beeinträchtigen und zu biologischen

oder technischen Komplikationen führen^{3,7}. Angesichts der steigenden Zahl von Patienten, die von periimplantären Erkrankungen betroffen sind, und der fehlenden etablierten und vorhersagbaren Konzepte zur Behandlung von Periimplantitis kommt der Primärprävention eine zentrale Bedeutung zu¹. Die prothetische und chirurgische Planung sollte daher auf eine präzise Implantatpositionierung in allen drei Raumebenen abzielen und das Weichgewebemanagement berücksichtigen, um eine ästhetisch optimale Versorgung mit der Option eines verschraubten Zahnersatzes zu gewährleisten. Gleichzeitig muss sie eine effektive Reinigung und Untersuchung des periimplantären Gewebes ermöglichen, um Erkrankungen vorzubeugen und die Mundhygiene zu erleichtern^{1,3,8-10}.

Ursprünglich wurde das präimplantologische Backward-Planning mit manuellen Wax-ups, Set-ups, zweidimensionalen Röntgenbildern und manuell angefertigten modellbasierten Übertragungsschienen durchgeführt¹¹. In den letzten drei Jahrzehnten haben jedoch zunehmend digitale Technologien in Diagnostik, Planung und Behandlungsdurchführung Einzug gehalten. Insbesondere die digitale Volumentomografie (DVT), die sich als dreidimensionale radiologische Bildgebung in der Zahnmedizin etabliert hat³, und die computergestützte bzw. -navigierte Implantatchirurgie spielen dabei eine entscheidende Rolle^{3,9,12}.

Das Ziel von sogenannten Navigationskonzepten ist es, mithilfe verbesserter Diagnostik und dreidimensionaler Bilddaten präoperative Planungsinformationen präzise auf das Operationsfeld zu übertragen und dadurch eine exakte und vorher-sagbare Durchführung der Behandlung zu gewährleisten³. Die virtuelle Implantatplanung ermöglicht es, kritische Knochenanatomien frühzeitig zu erkennen und die Behandlung entsprechend anzupassen, indem präzise 3-D-Daten zur genauen Bestimmung der Implantatpositionen genutzt werden^{3,9}. Zudem erlaubt die dreidimensionale Implantationsplanung eine zeitgleiche prothetische Planung und Herstellung einer provisorischen Versorgung bereits vor der Implantation, um intraoperativ eine Sofortversorgung zu ermöglichen^{9,13}.

Zur Übertragung der präoperativ virtuell geplanten Implantatpositionen gibt es zwei Hauptverfahren: die dynamische und die statische Navigation. Die dynamische Navigation verfolgt das Bohren in den Knochen und das Einsetzen des Implantats in Echtzeit mithilfe spezieller Software. Dieses System weist spezifische Vor- und Nachteile auf und hat zudem einen sehr hohen Anschaffungspreis³. Es wird in diesem Artikel nicht näher beschrieben.

Die statische Navigation nutzt feststehende Bohrschablonen, in die die virtuell geplante Implantatposition mithilfe implantatsystemspezifischer Hülsen präzise codiert wird, um die Implantation zu führen. Dabei bieten verschiedene Implantatsysteme unterschiedliche Konzepte für die Führung von Bohrern und Implantaten in den Bohrschablonen an³. Grundsätzlich können die Schablonen, die in Kombination mit speziellen chirurgischen

Kits zur Implantatbettauflbereitung und -insertion verwendet werden³, schleimhaut-, knochen- oder zahngestützt sein⁶. Die statische Navigation wird in eine vollständig („fully guided“) und halbgeführte („half guided“) Implantatchirurgie unterteilt, wobei die halbgeführte Implantation pilotbohrergeführte und nicht computergestützte Methoden umfasst⁶. Während vollständig geführte Schablonen noch vor wenigen Jahren manuell und fehleranfällig mithilfe von speziellen Positioniertischen mit bis zu sechs von Hand einzustellenden Achsen pro Implantat hergestellt wurden, hat die digitale CAD/CAM-Fertigung die manuelle Vorgehensweise weitgehend verdrängt. Vor allem stellt der 3-D-Druck eines der Hauptverfahren dar, mit welchem Schablonenkonstruktionen möglich sind, die manuell nur sehr schwer oder gar nicht zu realisieren sind. Daneben finden auch subtraktive Verfahren in Form von Fräsvverfahren Verwendung. Komplexe Bohrschablonen, z. B. mit Fixierungspins, können aufgrund des limitierten Einschubs der Fräsanlagen jedoch ausschließlich additiv hergestellt werden.

Die Anwendung digitaler Technologien wie optischer Scanner und von Planungssoftware ermöglicht es, weitgehend auf physische Modelle sowie manuelle Wax-ups oder Set-ups zu verzichten. Darüber hinaus können mittels CAD/CAM-Verfahren Zahnersatzkonstruktionen für provisorische Sofortversorgungen direkt geplant und gefertigt werden. Dieser digitale Workflow ist vor allem in teilbezahnten Kiefern bereits weit verbreitet, da vorhandene Nachbarzähne meist ausreichend Referenzpunkte bieten, um unbezahnte Bereiche virtuell zu ergänzen. In stark reduzierten Restgebissen oder zahnlosen Kiefern fehlen jedoch natürliche Referenzstrukturen, was häufig eine konventionelle Zahnaufstellung erforderlich macht. Zudem ist die Präzision bei navigierten Implantationen im zahnlosen Kiefer eingeschränkt, da keine stabilen anatomischen Strukturen zur Abstützung der Bohrschablonen vorhanden sind. Das Hauptproblem bei der Verbesserung der chirurgischen Genauigkeit besteht darin, die Schablone bei zahnlosen Patienten sicher zu fixieren¹⁴. Ziel dieses kasuistischen Beitrages ist es daher, aktuelle Fortschritte im digitalen Workflow bei der Planung, Herstellung und Umsetzung von Implantationen im zahnlosen

Kiefer zu präsentieren. Diese Entwicklungen werden anhand von Fallbeispielen zahnloser Patienten veranschaulicht.

Prinzip und Workflow bei stark reduziertem Restgebiss/zahnlosem Kiefer

Ein zentrales Prinzip der digitalen Implantatplanung ist die präzise Übertragung realer anatomischer Strukturen als optische Scans im STL-Format (STL = Standard Tessellation Language) in das digitale Koordinatensystem der Planungssoftware. In dieses System werden auch die DVT-Aufnahmen als DICOM-Daten (DICOM = Digital Imaging and Communications in Medicine) integriert. Der Abgleich erfolgt typischerweise durch das Identifizieren und Markieren gut erkennbarer Referenzpunkte, wie zum Beispiel von Zähnen, zwischen den Oberflächendarstellungen der optischen Scans und den DVT-Daten.

Fehlen Zähne als Referenzpunkte, muss alternativ ein Set-up erstellt werden, um den digitalen Workflow sicherzustellen und die Referenzierung sowie die prothetische Planung in die virtuelle Umgebung zu übertragen. Der Prozess beginnt mit der Erfassung von optischen Intraoralscans oder Modellscans (z. B. Scan des Gipsmodells) mit und ohne Set-up sowie einer DVT-Aufnahme mit Set-up. Anschließend werden diese Daten durch das Markieren identischer Referenzpunkte in den Oberflächendarstellungen der Scans und der DVT-Aufnahme in der Planungssoftware übereinandergelegt (Matching). Die Implantatposition wird auf Grundlage der DVT-Daten bestimmt, während die Schablonenkonstruktion auf der genauen 3-D-Darstellung des optischen Kieferscans basiert¹². Diese Datenfusion bildet die Basis für eine präzise und sichere Implantatplanung.

Anwendungsschritte und klinische Fallbeispiele

Um die Vorteile der statisch navigierten Implantationschablonen bei zahnlosen Patienten optimal zu

nutzen, ist ein klar strukturierter Prozess erforderlich, der in mehrere aufeinanderfolgende Schritte gegliedert ist. Im Folgenden werden diese Anwendungsschritte anhand von drei klinischen Fallbeispielen veranschaulicht.

1. Fallbeispiel

Dieses Fallbeispiel beschreibt einen 80-jährigen Patienten mit einem bestehenden Implantat im Unterkiefer, der drei weitere Implantate für eine neue herausnehmbare implantatunterstützte Prothese mit vier Druckknopfankern wünschte (Abb. 1a).

Hybrider Workflow zur Herstellung der Bohrschablone

Dank der suffizienten Prothesenform und Zahnaufstellung konnte die vorhandene Prothese des Patienten als Referenz für die prothetisch orientierte Planung verwendet werden. Andernfalls wäre eine neue idealisierte Zahnaufstellung erforderlich gewesen. Die Zahnaufstellung dient dabei als Vermittlerstruktur, um die reale mit der virtuellen Situation zu verbinden, und wird in eine röntgenopake Schablone aus Bariumsulfat (BaSO_4) übertragen (Abb. 1b). Die DVT-Aufnahme erfolgt dann mit eingesetzter Schablone (s. Abb. 2b), was die Überlagerung (Matching) des optischen Scans mit Zahnaufstellung und der DVT-Aufnahme anhand der erkennbaren Zahnstrukturen ermöglicht (s. Abb. 2a bis c).

Ein zusätzlicher optischer Scan der zahnlosen Kieferkammsituation ist erforderlich (Abb. 1c und e), da die spätere Bohrschablone auf der zahnlosen Kieferkammsituation und nicht auf der Zahnaufstellung positioniert wird. Da dieser Scan keine Zahnaufstellung als Referenz enthält und somit nicht direkt mit der DVT-Aufnahme überlagert werden kann, muss er zunächst mit dem optischen Scan der Zahnaufstellung gematcht werden (Abb. 1d und e). Im zahnlosen Unterkiefer fehlen jedoch aufgrund der beweglichen Schleimhautanteile und der Anatomie des Mundbodens und der Zunge stabile Referenzstrukturen. Deshalb ist der Einsatz von Sockelmodellen anstelle von Intraoralscans derzeit die bevorzugte Methode (Abb. 1b und c).

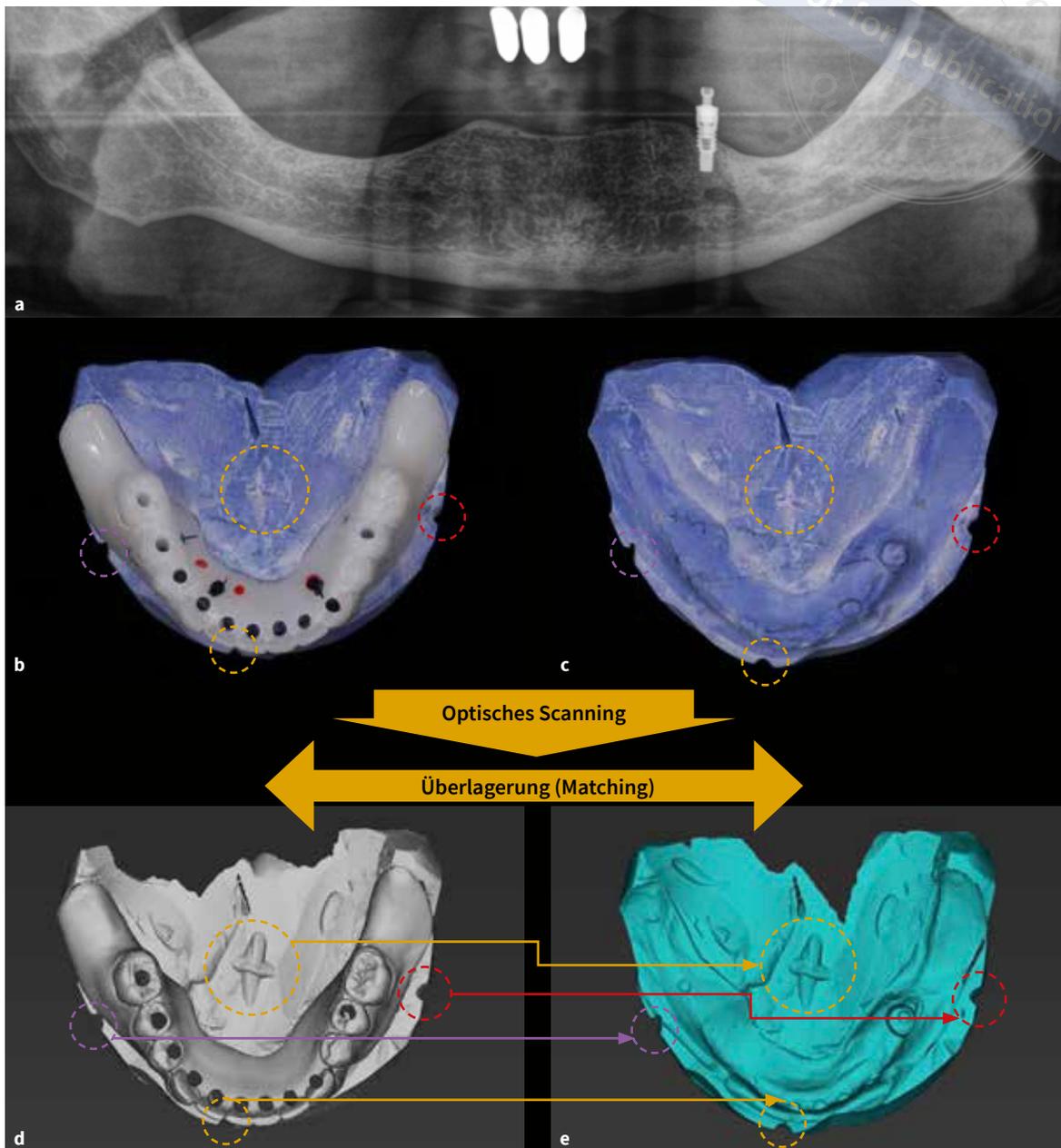


Abb. 1a bis e Röntgenologische Ausgangssituation eines zahnlosen Unterkiefers mit einem Restimplantat in regio 35 mit Kugelkopfancker (a), mit BaSO₄-haltigem Kunststoff doublierte Prothese auf einem Silikonsockel (b), Silikonsockel ohne aufgesetzte Röntgenschablone (c); die Kreise in (b) und (c) zeigen die Einkerbungen im selben Sockel. Optische Scans der physischen Modelle b und c (d und e); beide Scans zeigen die identischen Einkerbungen am Silikonsockel; die Pfeile symbolisieren das Markieren dieser Einkerbungen in beiden Scans zur Überlagerung in der Software.

Durch das Hinzufügen markanter Strukturen, wie Einkerbungen oder Gravuren, können beide optischen Scans zuverlässig übereinandergelegt werden (Abb. 1d und e; s. Kreise und Pfeile), sodass sie anschließend mit der DVT-Aufnahme gematcht werden können (Abb. 2a bis c). Im nächsten Schritt

erfolgen die virtuelle Implantatplanung mithilfe der abgebildeten Zahnaufstellung sowie das Bohrschablonendesign basierend auf dem Oberflächenscan des zahnlosen Kieferkamms (Abb. 2c und d). Die in die Zähne der Röntgenschablone eingearbeiteten achsenzentrierten Kanäle ermöglichen es, die

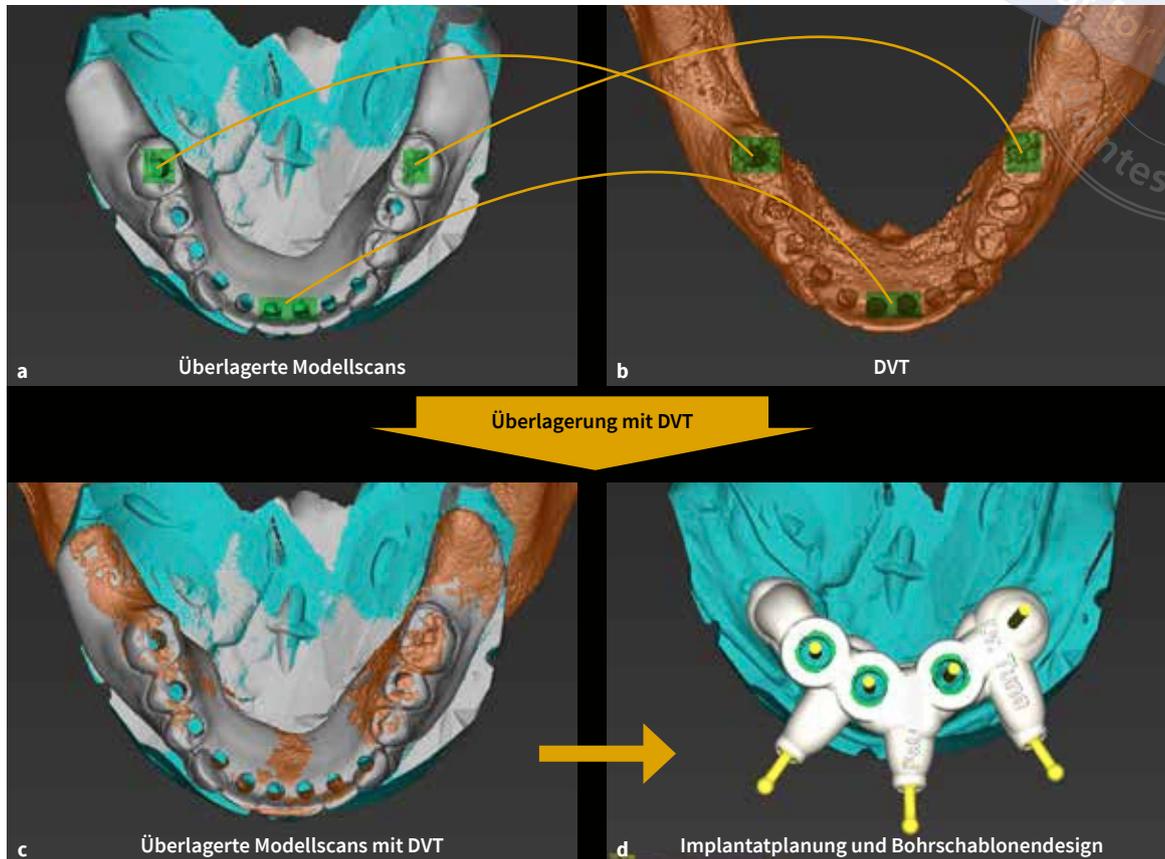


Abb. 2a bis d Die zusammengesetzten optischen Scans (a) werden mit der DVT-Aufnahme samt Röntgenschablone (b) durch Markierung von mindestens drei identischen Strukturen in beiden Darstellungen abgeglichen. Überlagerte Darstellung der Scans und der DVT-Aufnahme (c) und Entwurf der Bohrschablone mit Implantatpositionen in den Regionen 44, 42, 33 sowie Fixierungspins (d).

Implantatachsen in der virtuellen Planung so genau wie möglich an der Zahnstellung auszurichten. Zusätzlich werden zur Stabilisierung neben den drei geplanten Implantaten drei Fixierungspins in die Bohrschablone integriert (Abb. 2d). Die Kombination von analogen (physischen Modellen) und digitalen Arbeitsschritten zur Herstellung der statischen Bohrschablone wird als „hybrider Workflow“ bezeichnet.

Frühere manuell hergestellte Bohrschablonen verloren nach Bildung und Verlagerung eines Gingivalappens ihre Lagestabilität, was zu einer ungenauen Übertragung der präoperativen Planung führte. Die Fixierung der Bohrschablone mittels Pins verbessert die Stabilität erheblich. Hierfür werden zunächst die Bohrschablone stabil positioniert und die Fixierungspin-Bohrungen durch die betäubte Gingiva gesetzt. Nach der Überprüfung

durch das Einsetzen der Pins (Abb. 3a) wird die Gingiva aufgeklappt (Abb. 3b). Anschließend wird die Bohrschablone erneut mithilfe der Fixierungspins positioniert. Sie liegt nun nahezu freischwebend, sollte jedoch so gestaltet sein, dass sie im posterioren Seitenzahnbereich zusätzlich auf der Kieferkammsschleimhaut aufliegt, um eine stabile Abstützung sicherzustellen (Abb. 3c).

Falls erforderlich, wird vor der Implantatbohrung eine leichte Knochenglättung vorgenommen. Sollte das Knochenniveau nach der Implantation angepasst werden müssen, ist darauf zu achten, die Implantate nicht zu beschädigen (Abb. 3d). Abhängig von der Primärstabilität kann anschließend eine subgingivale oder transgingivale Einheilung erfolgen, wobei die Prothese im Implantatbereich freigeschliffen wird, um eine Entlastung zu gewährleisten.

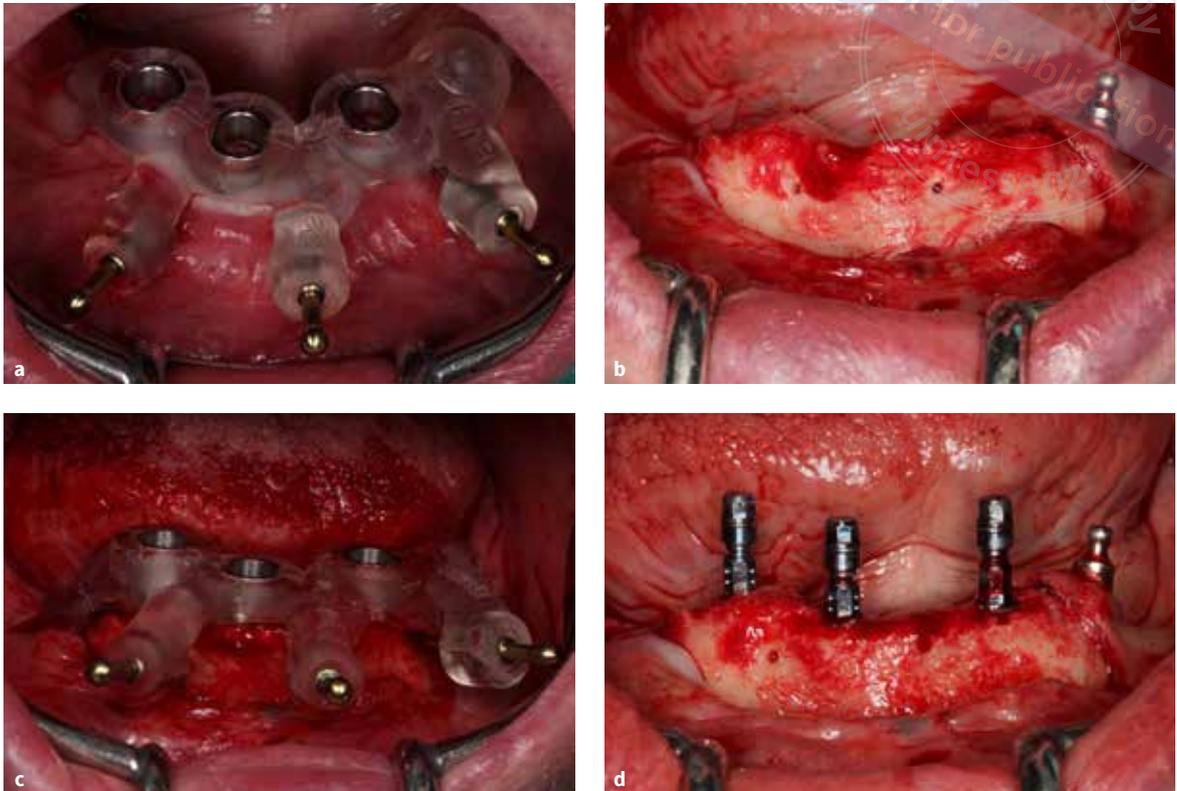


Abb. 3a bis d Überprüfung der Positionsstabilität der mit Fixierungspins verankerten Bohrschablone nach transgingivaler Bohrung mit dem Fixierungspin-Bohrer (a), Vollappenbildung mit sichtbaren Bohrlöchern zur Fixierung der Bohrschablone (b), stabil positionierte Bohrschablone, fixiert mittels Fixierungspins (c), Zustand nach navigierter Implantatsetzung und Nivellierung des krestalen Kieferkamms auf das Niveau der Implantatschultern (d).

2. Fallbeispiel

Dieses Fallbeispiel beschreibt einen über 70-jährigen Patienten, dessen Wunsch eine festsitzende Neuversorgung im Oberkiefer war. Die seit 25–30 Jahren bestehenden vier Implantate sollten durch zusätzliche ergänzt werden, um eine verschraubbare Implantatbrücke zu ermöglichen (Abb. 4). Zunächst wird ein direktes hufeisenförmiges Provisorium (Luxatemp Star, Fa. DMG, Hamburg, Deutschland) auf Basis eines idealisierten Wax-ups mit einer Tiefziehfolie auf den vorhandenen Implantaten angefertigt (Abb. 5a und b). Zahn 23 ist aufgrund eines großen Substanzdefekts nicht mehr erhaltungsfähig (Abb. 5a). Die Implantate in den Regionen 16 und 25 zeigen periimplantäre Entzündungen, die durch gründliche Reinigungsmaßnahmen in einen gesunden Zustand überführt werden können. Die strategische Erweiterung der Pfeilerzahl zielt darauf ab, die Versorgung so zu stabilisieren, dass auch bei einem möglichen späteren Verlust eines Implantats genü-

gend Pfeiler vorhanden sind, um die festsitzende Versorgung langfristig zu sichern.

Rein Digitaler Workflow zur Herstellung der Bohrschablone

Für die Herstellung einer Navigationsschablone ist in diesem Fall keine herausnehmbare bariumsulfathaltige Röntgenschablone notwendig, da das festsitzende Provisorium bereits eine idealisierte Zahnaufstellung bietet. Durch das Anbringen von mindestens vier bariumsulfathaltigen Markern (Bariumsulfatkugeln, Fa. implant-oris, Crimmitzschau, Deutschland) am Provisorium (Abb. 5b) kann diese Zahnaufstellung präzise in die digitale Planung integriert werden, da die DVT-Aufnahme mit den röntgenopaken Markern und dem Provisorium erfolgt (s. Abb. 5d). Die Marker dienen als Referenzpunkte zur Überlagerung mit den optischen Scans, da das Material des Provisoriums im DVT nur schwach sichtbar ist. Deshalb müssen die Mar-

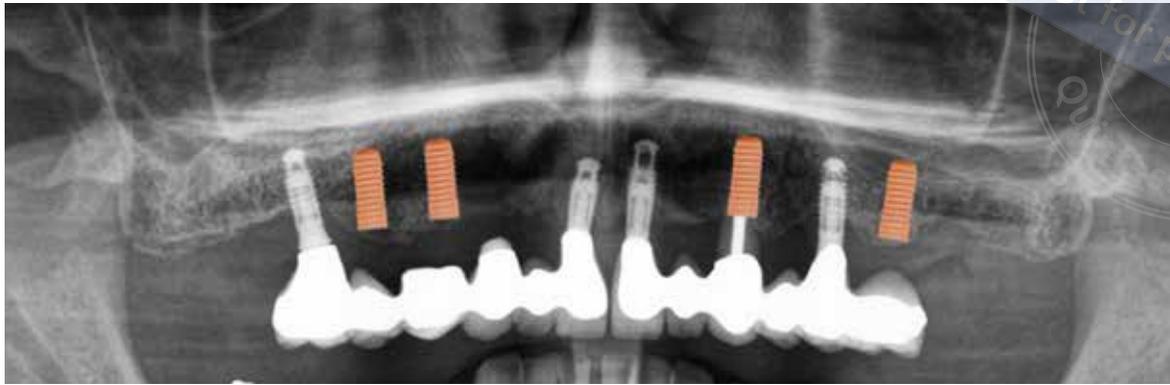


Abb. 4 Röntgenologische Ausgangssituation der Oberkieferversorgung mit zwei insuffizienten zahn- und implantatgetragenen Brücken sowie einem nicht erhaltungswürdigen Zahn 23. Strategische Implantatpfeiler sind für die Regionen 14, 15, 23 und 26 geplant.

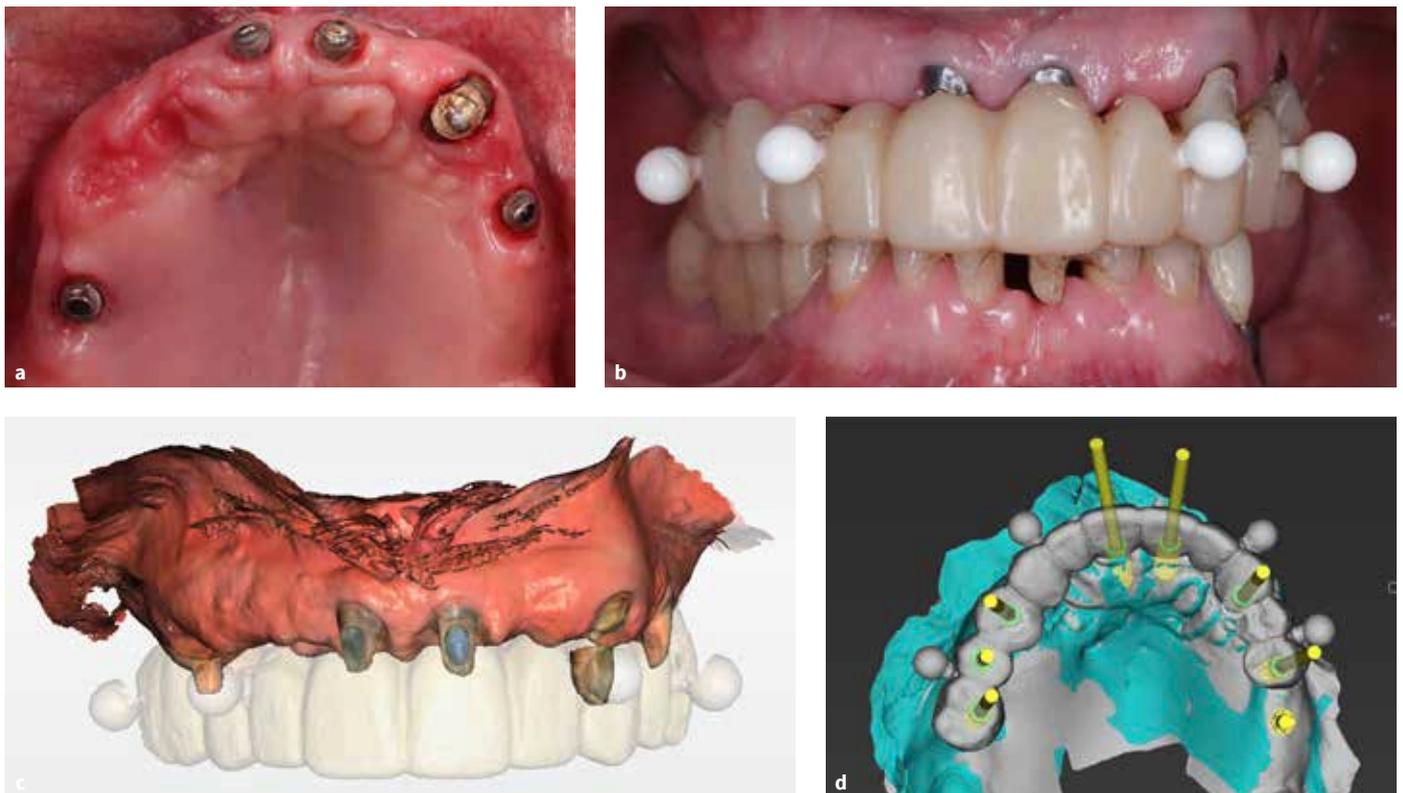


Abb. 5a bis d Zustand nach Entfernung des alten Brückenzahnersatzes und Versorgung der bestehenden Implantate mit umgeschliffenen Abformpfosten als provisorische Abutments für eine feststehende direkte provisorische Versorgung mittels Tiefziehfolie; Zahn 23 mit großem Substanzdefekt (a), frontale Ansicht des Provisoriums, abgestützt auf den provisorischen Abutments, mit vier angebrachten röntgenopaken Kugelmarkern zur Vorbereitung der Intraoralscans und der DVT-Aufnahme (b), Visualisierung der überlagerten Intraoralscans in der Frontalansicht (c), virtuelle prothetisch orientierte Implantatpositionierung in den Regionen 15, 14, 23 und 26 sowie Darstellung der Implantatachsen der bestehenden Implantate durch Überlagerung mit virtuell identisch positionierten Implantaten und Planung eines Fixierungspins zur Sicherung der Position der späteren Bohrschablone zusätzlich zur Abstützung auf den provisorischen Abutments der alten Implantate (d).

ker auch in den optischen Scans erfasst werden. In diesem Fall genügen jedoch Intraoralscans, da die Scans mit und ohne Provisorium anhand der ausgeprägten Rugae palatinae und anderer stabiler Gingivabereiche im Oberkiefer exakt überlagert werden können. Auf physische Modelle mit Einkerbungen

kann daher verzichtet werden und die Überlagerungsfähigkeit der Scans lässt sich bereits während des Scannens prüfen (Abb. 5c).

Auf diese Weise kann die Zahnaufstellung präzise in die Planungssoftware integriert, visualisiert und mit der DVT-Aufnahme überlagert werden (Abb. 5d).

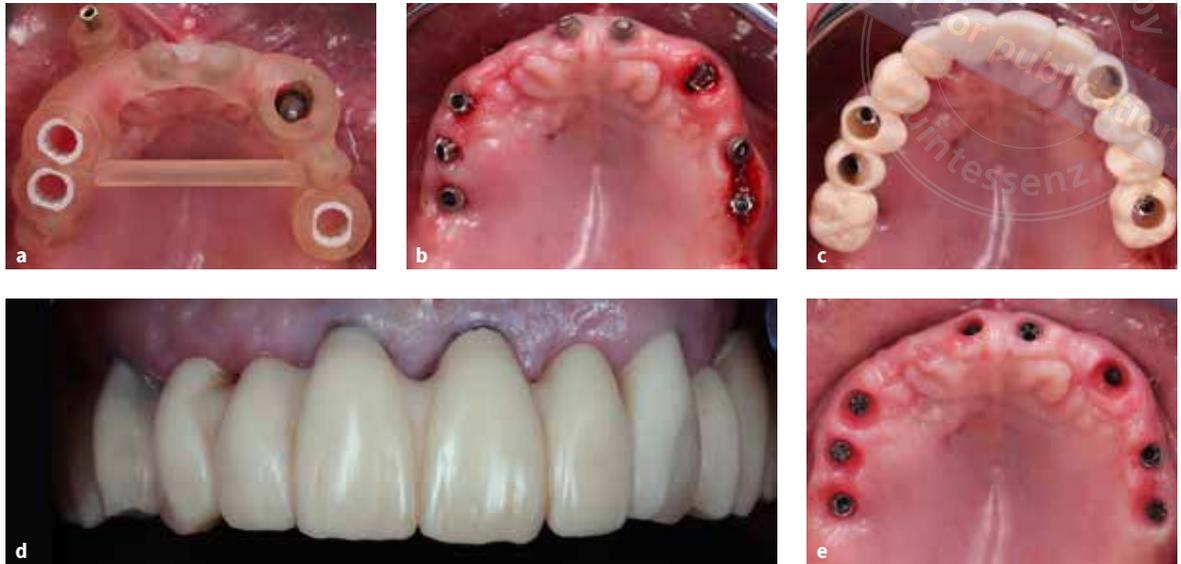


Abb. 6a bis e Bohrschablone in situ (a), Zustand nach „flapless“ Implantation in regio 14 und 15, Sofortimplantation in regio 23 und Implantation in regio 26 mit minimaler Lappenbildung; provisorische Abutments werden auf den Implantaten befestigt und achsengerecht getrimmt, um das folgende Sofortprovisorium aufzunehmen (b). Fixierung des CAD/CAM-gefertigten Sofortprovisoriums, das stabil auf den alten Abutments positioniert wird, mit lichterhärtendem Provisorienkunststoff (c), Zustand eine Woche nach Eingliederung des ausgearbeiteten Sofortprovisoriums (d), Gingivazustand nach Einheilung, vor der Anfertigung der definitiven Prothetik (e).

Zur optimalen Ausrichtung der neuen Implantate können die alten Implantate in der Planungssoftware mit Implantatstrukturen überlagert werden, um die Achsenabweichungen zwischen den vorhandenen und den geplanten Implantaten präzise zu bestimmen (Abb. 5d). Die Bohrschablone wird daraufhin in der Planungssoftware (Exoplan, Fa. Exocad, Darmstadt, Deutschland) erstellt, wobei diese auf den optisch erfassten präparierten Abutments der alten Implantate abgestützt wird. Für zusätzlichen Halt wird eine Fixierungspin-Bohrung eingepflanzt. Abschließend wird die Bohrschablone im 3-D-Druck gefertigt (Abb. 6a).

Um den Wunsch nach einer festsitzenden definitiven Versorgung zu erfüllen, wird präoperativ ein neues CAD/CAM-Sofortprovisorium entworfen, um direkt nach der Implantation ein idealisiertes Emergenzprofil an den Implantaten und einen ästhetisch optimierten Gingivaverlauf auszuformen. Das Provisorium wird mit Aussparungen für die provisorischen Abutments der neuen Implantate in den Regionen 15, 14, 23 und 26 gestaltet. Zudem wird es so konzipiert, dass es auf den vorhandenen Abutments der alten Implantate abgestützt und provisorisch zementiert werden kann (s. Abb. 6c).

Intraoperativ erfolgt zunächst die navigierte Sofortimplantation in der Region 23 nach der Extraktion des Zahnes. Die Implantation in den Regionen 14 und 15 wird aufgrund der ausreichenden befestigten Gingiva und des ausreichenden knöchernen Angebots ohne Lappenbildung („flapless“) durchgeführt, während für die Region 26 aufgrund mangelnder befestigter Gingiva eine kleine Lappenmobilisierung notwendig ist (Abb. 6b). Für die Sofortversorgung werden in diesem Fall gerade provisorische Abutments verwendet, von denen zwei in den Regionen 15 und 23 aufgrund der abweichenden Angulationen der Implantate intraoral beschliffen werden müssen, um in die Aussparungen des Sofortprovisoriums zu passen (Abb. 6c).

Der Schraubenkanal in der Region 23 liegt bukkal der Krone, was in der provisorischen Phase unproblematisch ist und später in der definitiven Versorgung durch eine angulierte Verschraubung korrigiert werden kann (Abb. 6d). Das auf den neuen Implantaten verschraubte und auf den alten Abutments provisorisch zementierte Provisorium gewährleistet während und nach der Einheilungsphase einen ästhetisch ansprechenden Gingivaverlauf mit gut ausgeformten Emergenzprofilen im Bereich der Implantate (Abb. 6e).

3. Fallbeispiel

Eine 76-jährige Patientin mit einer Unterkieferprothese und Restbeziehung der Zähne 41–43 und 33 wies aufgrund fortgeschrittenen Attachmentverlusts und subgingivaler Karies eine schlechte Prognose dieser Zähne auf. Der zahnlose Unterkiefer war zudem stark horizontal atrophiert. Die Patientin wünschte eine festsitzende Zahnersatzlösung ohne zweizeitigen Knochenaufbau und entschied sich nach ausführlicher Aufklärung für eine implantatgetragene Brücke nach dem „All-on-4“-Konzept.

Dieses Konzept umfasst die Sofortimplantation und Sofortversorgung mit einem laborgefertigten Langzeitprovisorium auf vier Implantaten im interforaminären Bereich. Das „All-on-4“-Konzept hat sich insbesondere bei Patienten mit atrophierten Kiefern und dem Wunsch nach festsitzendem Zahnersatz ohne aufwendige Augmentation bewährt¹⁵. In vielen Fällen, so auch hier, ist eine Alveolotomie erforderlich, da die vorhandene Kieferkamm-Dimension ohne umfangreiche Augmentation nicht ausreicht, um eine stabile Implantation zu ermöglichen.

Der verstärkte Einsatz digitaler Arbeitsprozesse rechtfertigt sich in diesem Fall besonders aufgrund der Möglichkeit einer präzisen Planung und Herstellung mehrerer exakt aufeinander abgestimmter Komponenten, wie Träger- bzw. Reduktionsschablone, Bohrschablone und Sofortprovisorium, mithilfe von CAD/CAM-Verfahren. Es wird eine sogenannte Stapelschablone verwendet, die eine präzise und modulare Konstruktion aller Komponenten erlaubt. Sowohl die Bohrschablone als auch das Sofortprovisorium werden auf einer Fixierungspin-verankerten Trägerschablone stabil positioniert, welche gleichzeitig als Reduktionsschablone fungiert. Im Fall einer Alveolotomie dient die kranial ausgerichtete Planfläche der Trägerschablone zur Orientierung für die vertikale und horizontale Kammreduktion. Um eine optimale Zugänglichkeit zum Operationsgebiet zu gewährleisten, wird die Reduktionsschablone knochengetragen eingesetzt. **Hierfür werden zunächst mithilfe einer separaten Schablone, die auf den noch nicht extrahierten Restzähnen aufgesetzt wird, die Bohrungen für die Fixierungspins gesetzt (s. Abb. 7b). Diese Bohrungen werden durch die noch nicht abpräparierte**

Mundschleimhaut durchgeführt. Anschließend erfolgen die Extraktion und Vollappenbildung, damit die knochengetragene Reduktionsschablone präzise positioniert werden kann (s. Abb 7b und d).

Im vorliegenden Fall wurde die suffiziente provisorische Versorgung durch intraorale Scans digitalisiert. Ein analoger Schritt ist die Doublierung der bestehenden Interimsprothese in eine Bariumsulfatschablone. Mit dieser eingesetzten Röntgenschablone wird eine DVT-Aufnahme angefertigt, die anschließend zusammen mit den Scanaufnahmen in der Planungssoftware (coDiagnostiX, Fa. Dental Wings, Chemnitz, Deutschland) überlagert wird (s. Abb. 7a).

Die folgende Diagnostik und Planung umfasst mehrere Schritte: Zunächst wird die Implantatposition basierend auf den anatomischen Gegebenheiten sowie anhand der mittels Bariumsulfatschablone sichtbaren Zahnpositionen festgelegt (Abb. 7a). Nach Bestätigung, dass im vorliegenden Fall im interforaminären Bereich ausreichend Knochenangebot vorhanden war, wurde entschieden, vier Implantate (Bone Level X Roxolid SLActive, Fa. Straumann, Basel, Schweiz) zu setzen. Die lateralen Implantate sollten mit ihrer Schulter im Bereich der Prämolaren positioniert werden. Zudem wurden drei Fixierungspins (Template Fixation Pin, Ø 1,3 mm, Fa. Straumann) unterhalb des Implantatschulterniveaus und zwischen den Implantaten platziert. Diese Pins werden etwa 3–4 mm tief im Kieferknochen verankert, um eine stabile Basis für den späteren Einsatz der Schablonen zu gewährleisten. Im direkten Anschluss kann die zahngetragene Schablone designt werden, um die Bohrungen für die Fixierungspins durchführen zu können (Abb. 7b). Im weiteren Schritt wird eine Schnittebene eingeblendet, um den Knochenanteil, der oberhalb der Implantatschultern zu liegen kommt, virtuell zu markieren (Abb. 7c) und ihn anschließend zu trennen. Anhand dieser Schnittebene kann die Reduktionsschablone mit Fixierungspins designt werden (Abb. 7d), wonach das Entwerfen der Bohrschablone für die Implantate folgt (Abb. 7e). Für die letzte Komponente der Stapelschablone, das Provisorium, wird basierend auf den intraoralen Scans der Ausgangssituation ein in einer Prothetiksoftware (Fa. Exocad) virtuell designtes Provisorium

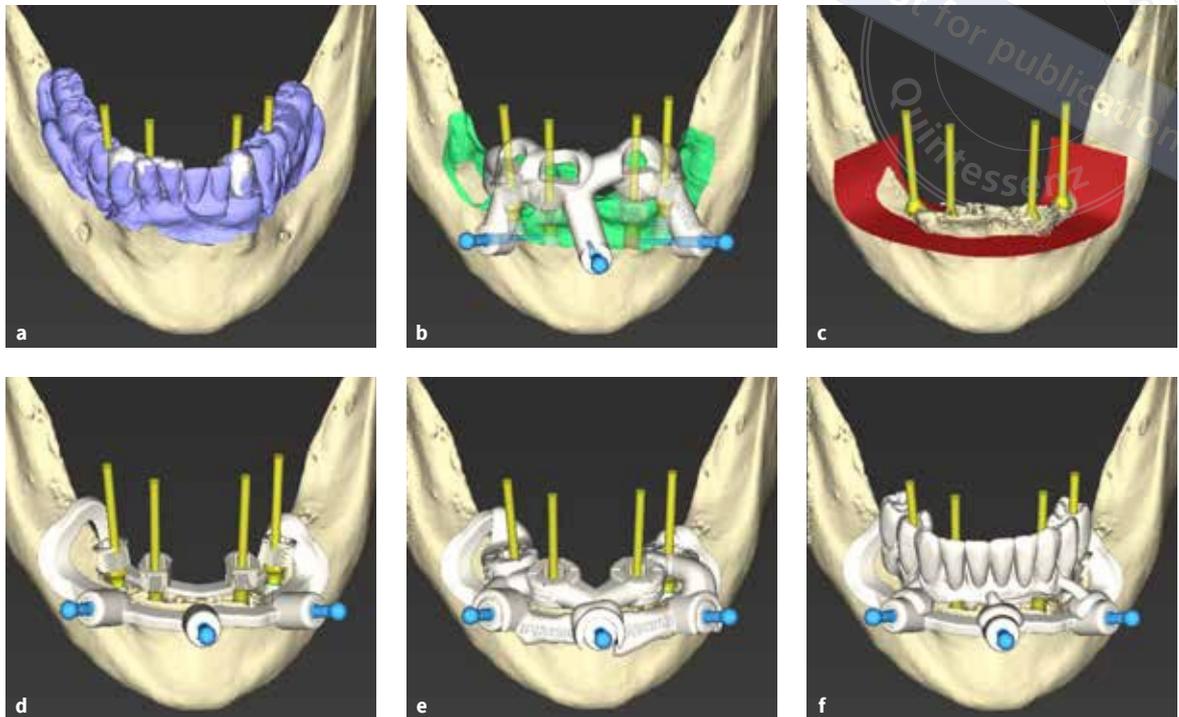


Abb. 7a bis f Frontale Ansicht des überlagerten Unterkieferscans mit DVT-Aufnahme und Restzähnen (weiß); prothetisch orientierte virtuelle Implantatplatzierung mit Angulation in der Prämolarenregion 35 und 45 (a), Design der Bohrschablone für die primäre Fixierungspin-Bohrung, abgestützt auf den vorhandenen Zähnen (b), Einstellung der Schnittebene auf das Niveau der zukünftigen Implantatschulterebene nach dem Ausblenden der zu extrahierenden Zähne in der Software (Fa. coDiagnostiX, Chemnitz, Deutschland); Sichtbarkeit des zu schmalen Kieferkammabschnitts; die Achsen der Implantate in regio 35 und 45 wurden durch zusätzliche angulierte Multi-Unit-Abutments nach den mittleren Implantaten ausgerichtet (c). Knochenabgestützte Reduktionsschablone mit Fixierungspin-Option als Träger für die nachfolgende Bohrschablone und das Provisorium (d), Visualisierung der designten Bohrschablone, die auf der Reduktionsschablone aufgesetzt wird (Klemmpassung) (e), Visualisierung des designten Sofortprovisoriums in Relation zu den Implantatpositionen und der Abstützung auf der Reduktionsschablone (f).

mit verkürzter Zahnreihe in die Planungssoftware (coDiagnostiX, Fa. Dental Wings) integriert und anschließend so designt, dass dieses Provisorium mit Auflageflächen auf der Reduktionsschablone lagestabil positioniert werden kann (Abb. 7f).

Abbildung 8a zeigt die fertig ausgearbeitete gedruckte Bohrschablone, die bereits klemmstabil auf der Reduktionsschablone sitzt. Die Abbildungen 8b und c veranschaulichen, wie das vorgefertigte Provisorium auf die Reduktionsschablone aufzusetzen ist.

Im chirurgischen Eingriff werden nach erfolgter Lokalanästhesie die Bohrschablone zur Platzierung der Fixierungspins auf den Restzähnen positioniert und die Pinbohrung schrittweise durchgeführt (Abb. 9a). Anschließend erfolgt die Extraktion und Knochenfreilegung mittels vollmobilisierter Lappenpräparation. Die Reduktionsschablone wird rein knöchengelagert positioniert und mit den

Fixierungspins stabil fixiert und der überstehende Knochen mithilfe einer Luehrzange und sterilen Hartmetallfräsen unter Kühlung mit steriler Kochsalzlösung auf das Niveau der Reduktionsschablone reduziert. Danach kann die Bohrschablone auf die Reduktionsschablone aufgesteckt werden, um die Implantatbohrungen durchzuführen (Abb. 9b).

Nach der Implantation (Abb. 9c) werden Multi-Unit- und provisorische Abutments eingesetzt und das Provisorium unter Kofferdamschutz mit provisorischem Kunststoffmaterial an den Abutments befestigt (Abb. 9d). Der Implantatbereich wird aufgefüllt und mit harmonischen Emergenzprofilen versehen, während zeitgleich das Operationsgebiet vernäht wird. Anschließend werden das Provisorium auf die Multi-Unit-Abutments aufgeschraubt und die okklusalen Öffnungen mit Teflonband und Komposit verschlossen. Nach Kontrolle und Anpassung der Okklusion (Abb. 9e) erfolgt eine abschlie-

Abb. 8a bis c Ansicht der passgenau auf die Reduktionsschablone aufgesetzten Bohrschablone mit eingesetzten Bohrhülsen (T-Sleeve, Self-locking, PEEK, Fa. Straumann, Basel, Schweiz) für die Implantatbohrungen (a), Frontalansicht des CAD/CAM-Sofortprovisoriums mit drei Auflageflächen (b) zur Positionierung auf der darunter liegenden Reduktionsschablone (c).

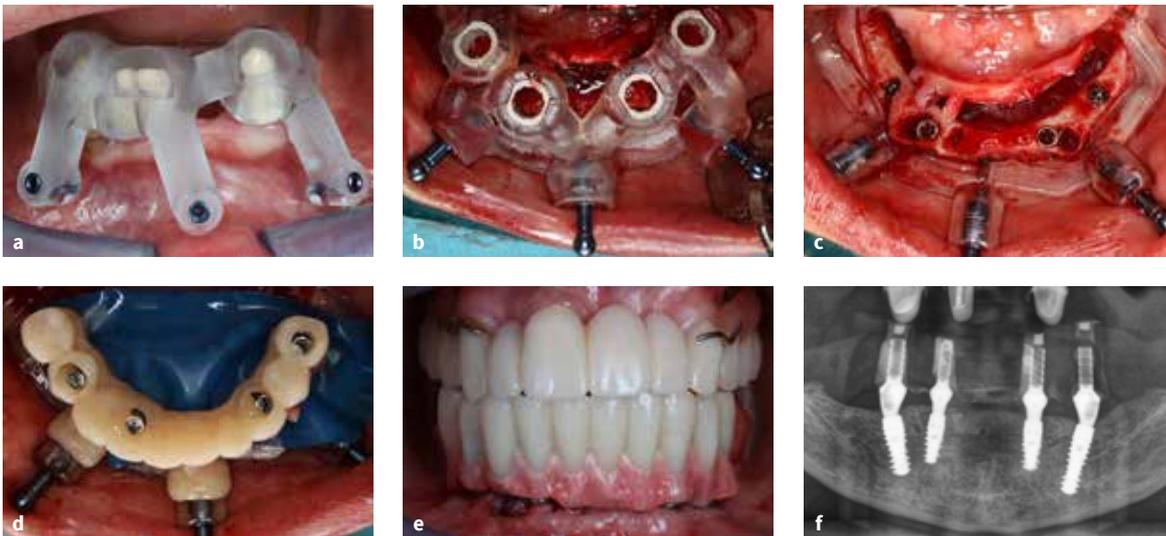
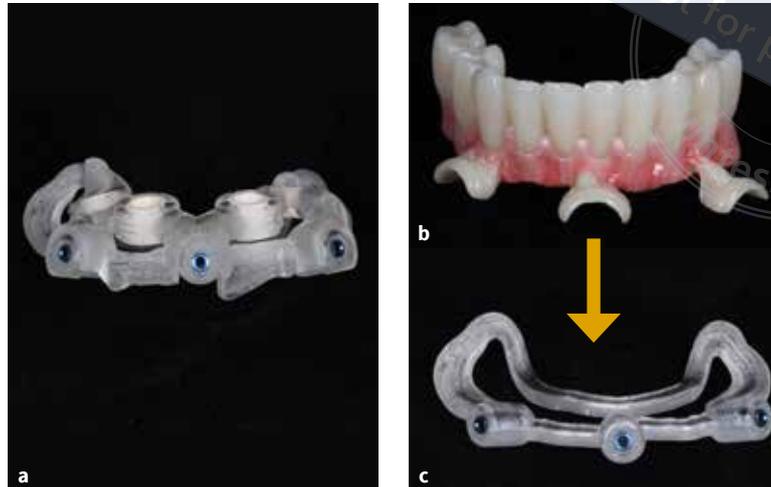


Abb. 9a bis f Zahngetragene Bohrschablone zur Fixierungspin-Bohrung, aufgesetzt vor der Extraktion und Schnittführung zur Lappenbildung (a), Bohrschablone auf der Reduktionsschablone nach erfolgter Extraktion, Lappenbildung und Alveolotomie (mittels eingesetzter Reduktionsschablone) (b), Zustand nach Implantatbohrung und -setzung; sichtbar sind die Alveolen der extrahierten Zähne (Reduktionsschablone weiterhin in situ) (c), Verbindung des Sofortprovisoriums mit den eingesetzten provisorischen Abutments (ventral: gerade, posterior: 17° abgewinkelte Multi-Unit Abutments mit provisorischen Abutments; Absicherung der unter sich gehenden Bereiche mit Kofferdam) (d), eingegliedertes Provisorium mit angepasster Okklusion (e), Röntgenkontrolle nach Eingliederung und Abschluss des klinischen Verfahrens (f).

ßende Panoramaaufnahme zur Überprüfung der Implantatpositionen und Abutments (Abb. 9f).

Eine Schwachstelle des Stapelschablonendesigns besteht darin, dass die halbrunden Auflagen, die das Provisorium auf der Reduktionsschablone stabil positionieren, nicht denselben Halt bieten wie die Klemmverbindung zwischen Bohr- und Reduktionsschablone. Die Klemmung der Bohrschablone ist wiederum so fest, dass das Abnehmen erschwert wird. Beim Provisorium brach eine der Auflagen, konnte jedoch durch die verbleibenden ausreichend kompensiert werden (Abb. 9d). Die

vielfältigen Möglichkeiten von CAD/CAM-Verfahren, die im 3-D-Druck umgesetzt werden, bieten jedoch Potenzial für stabilere und besser kontrollierbare Verbindungen. Ein alternatives Design wird im Folgenden vorgestellt.

In diesem Stapelschablonendesign, das mithilfe der Planungssoftware RealGuide 5.0 (Fa. 3Diemme, Cantù, Italien) und der Designsoftware Exocad erstellt wurde, übernehmen eingelassene Scheibenmagnete (Neodym Magnet, Fa. neomagtec, Berlin, Deutschland) in den Konnektoren zwischen der Trägerschablone (Abb. 10a) und den Modu-

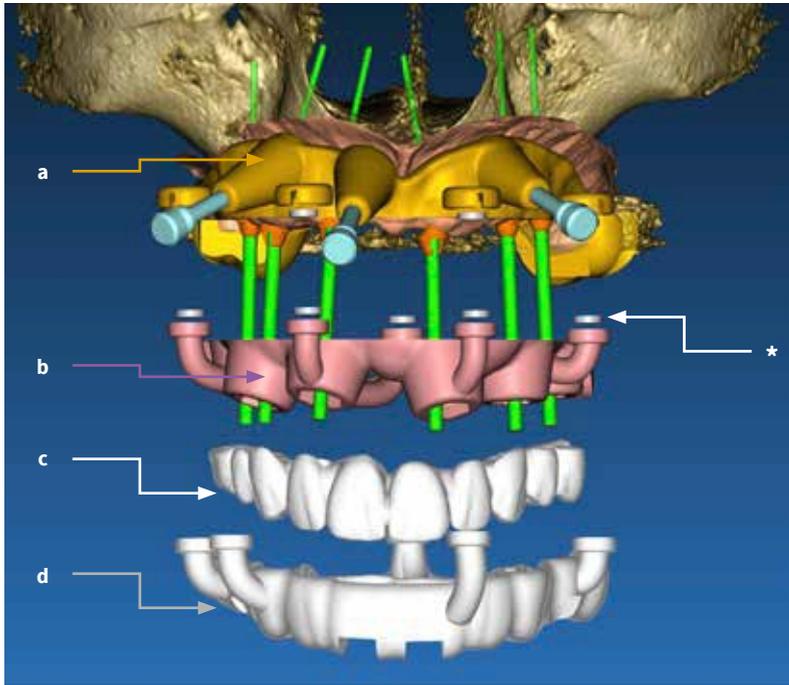


Abb. 10a bis d Virtuelle Ansicht einer DVT-Aufnahme in Frontalansicht mit Einblendung der Stapelschablonenteile (Module) in chronologischer Reihenfolge: Trägerschablone (Nr. 1), abgestützt auf die posteriore Restbezahnung und fixiert durch drei Fixierungspins im Frontbereich (a), Bohrschablone, die mithilfe in die Konnektoren eingebetteter Magnete (*) präzise auf der Trägerschablone positioniert und fixiert wird (b), Provisorium ohne Konnektoren (c), Trägerschablone (Nr. 2) zur Aufnahme des Provisoriums (Klemmpassung); die in die Konnektoren eingebetteten Magnete der zweiten Trägerschablone gewährleisten eine sichere und stabile Positionierung des Provisoriums über der ersten Trägerschablone (d).

len die Fixierung. Diese Verbindung gewährleistet eine hohe Präzision und Stabilität¹⁶. Die Konnektoren sind gleichmäßig verteilt, um eine stabile Abstützung sicherzustellen, und über 4 mm starke Verbinder fest mit der Bohrschablone verbunden (Abb. 10b). Die Magnete werden korrekt gepolt und ohne zusätzliche Verklebung per Presspassung in die dafür vorgesehenen Aussparungen eingesetzt. Ihre Haltekraft verhindert, dass die Module durch Vibration verrutschen.

Im hier dargestellten Schablonendesign fungiert die Trägerschablone nicht als Reduktionsschablone, sondern dient ausschließlich zur passgenauen Aufnahme der Bohrschablone und des Sofortprovisoriums. Sie wird sowohl transgingival mit Fixierungspins am Oberkieferknochen fixiert als auch im Molarenbereich dental abgestützt (Abb. 10a). Extraktionsbedürftige Zähne mit ausreichender parodontaler Stabilität können zur

Positionierung der Trägerschablone herangezogen werden. Bei stark parodontal geschädigtem Restgebiss ist jedoch eine drucklose optische Abformung notwendig, um fehlerhafte Positionierungen durch Zahnbewegungen im Abformmaterial zu vermeiden¹⁷.

Nach der Implantation wird das CAD/CAM-Provisorium intraoral mit den provisorischen Abutments verklebt. Im vorliegenden Fall wurde das Provisorium mithilfe einer Klemmpassung in eine zusätzliche Trägerschablone eingesetzt und anschließend fixiert (Abb. 10c und d). Dieses Vorgehen verkürzt zwar die nachträgliche Laborbearbeitung, erschwert jedoch den Zugang zur Entfernung von Kleberesten im Schraubkanal.

Genauigkeit der statischen Navigation im zahnlosen Kiefer

In der schablonennavigierten Implantologie zeigt sich im zahnlosen Kiefer eine deutlich größere Abweichung in der Präzision im Vergleich zu teilbezahnten Situationen, wie mehrere systematische Übersichtsarbeiten bestätigen. So ergab eine umfassende Analyse aus dem Jahr 2018, die die klinische Genauigkeit schablonengeführter Implantationen an über 2.238 Implantaten untersuchte, eine höhere Präzision bei teilbezahnten als bei zahnlosen Patienten, wobei bei den teilbezahnten Patienten die mittlere Abweichung an der Eintrittsstelle 1,2 mm (1,0–1,4 mm) und am apikalsten Punkt 1,4 mm (1,3–1,5 mm) betrug und die Winkelabweichung bei Werten zwischen 3 und 4° lag¹⁸.

Die reduzierte Genauigkeit im zahnlosen Kiefer ist hauptsächlich auf das Fehlen stabiler anatomischer Strukturen zur Schablonenfixierung zurückzuführen. Dies wurde in einer systematischen Übersichtsarbeit bestätigt, die die Genauigkeit verschiedener Schablonentypen im zahnlosen Kiefer untersuchte. Schleimhautgestützte Schablonen erwiesen sich dabei als deutlich weniger präzise als zahngestützte Schablonen. Der Einsatz von Fixierungsschrauben bei schleimhautgestützten Schablonen kann jedoch intraoperative Verschiebungen minimieren und somit die Implantationsergebnisse verbessern¹⁴. Eine weitere Übersichtsarbeit, die

sechs randomisierte klinische Studien und drei klinische Studien einschloss, untersuchte explizit die Genauigkeit schablonennavigierter Implantationen im zahnlosen Kiefer. Fast alle Studien verwendeten schleimhautgestützte Schablonen, nur eine arbeitete mit knochengestützten Schablonen. Im Ergebnis zeigte sich, dass die apikalen Abweichungen stärker ausgeprägt waren als die zervikalen und Implantate oft zu oberflächlich gesetzt wurden. Die durchschnittlichen Abweichungen lagen bei $2,01 \pm 0,77$ mm zervikal und $2,41 \pm 1,45$ mm apikal, mit einer Winkelabweichung von bis zu $4,98 \pm 2,16^\circ$. Die Abweichungen waren im Unterkiefer besonders stark ausgeprägt¹⁹.

Folgende Faktoren, die die Genauigkeit von statischen Bohrschablonen beeinflussen können, lassen sich anhand der Literatur auflisten. Einer der wesentlichen Aspekte ist die Bildgebungstechnik, bei der radiologische Bildfehler, wie Bild- oder Bewegungsartefakte, die Genauigkeit beeinträchtigen können. Weiterhin spielen die Datensegmentierung, die verwendeten Oberflächenscans (entweder von Modellen oder durch Intraoralscanner) sowie die Art der Datenregistrierung (automatisch oder manuell) eine Rolle. Ein weiterer wichtiger Bereich ist die anschließende Planung. Diese umfasst die softwarebasierte Planung und das Design der Schablone, das Fräs- oder Druckverfahren, die Auswahl der verwendeten Materialien, die Nachbearbeitung sowie die Sterilisation und die Wahl der Bohrhülsen. Als häufigste Ursachen für Ungenauigkeiten werden jedoch Anwendungsfehler im chirurgischen Protokoll genannt. Hierbei können die Fehlpositionierung und eine unzureichende Stabilisierung der Schablonen im Mund die Genauigkeit der Implantation negativ beeinflussen^{3,19}.

Sofortversorgung im zahnlosen Kiefer im digitalen Workflow

Sofortversorgungen im zahnlosen Kiefer sind aufgrund der beschriebenen Übertragungsgenauigkeiten der Implantatpositionen weiterhin nur provisorisch möglich. Dabei werden Hohlräume an den Implantatpositionen genutzt, die nach korrekter

Positionierung mit Kunststoff aufgefüllt werden, um eine stabile Verbindung zu den provisorischen Abutments herzustellen. Der Einsatz eines mit Fixierungspins befestigten Sofortprovisoriums könnte, ähnlich wie bei der Bohrschablone, die Genauigkeit verbessern, indem es eine stabilere Positionierung ermöglicht.

Die Anwendung von losen Reduktionsschablonen wurde bereits vor über 10 Jahren beschrieben²⁰. Das Konzept der Stapelschablone („stackable guide“), bei dem eine am Kieferkamm fixierte Träger- oder Reduktionsschablone als Basis dient, auf die weitere Komponenten wie Bohrschablone und Sofortprovisorium passgenau aufgesetzt werden können, stellt jedoch eine hilfreiche Weiterentwicklung dar, wie eine aktuelle Übersichtsarbeit folgert¹⁷. Da bislang nur Fallberichte und Fallserien vorliegen, basiert diese Bewertung jedoch größtenteils auf Erfahrungswerten. Zu den möglichen Nachteilen zählen höhere Kosten und die Gefahr von Fehlerübertragungen, falls die initiale Trägerschablone nicht korrekt positioniert wird.

Künstliche Intelligenz im digitalen Workflow

Planungssoftwares in der Implantologie nutzen bereits Künstliche Intelligenz (KI), insbesondere bei der Segmentierung, der Darstellung von Nerven und der Überlagerung von Scans mit DVT-Aufnahmen. Obwohl diese Schritte kontrolliert und gegebenenfalls manuell korrigiert werden müssen, bietet das KI-basierte Vorgehen dennoch eine Zeitersparnis bei der Fallvorbereitung. Im zahnlosen Kiefer ist der KI-Support jedoch noch eingeschränkt, da weniger klar erkennbare Strukturen vorhanden sind, die automatisiert identifiziert werden können.

Durch die Einbindung von Facescans und digitaler Kiefergelenkdiagnostik könnte die Vorhersagbarkeit umfangreicher Rehabilitationen weiter gesteigert werden, da mehr patientenspezifische Parameter zur Verfügung stünden, um sowohl ästhetische als auch funktionale Anforderungen besser zu erfüllen. Mit dem zunehmenden Einsatz KI-gestützter Prozesse ist zu erwarten, dass in Zukunft eine Software entwickelt wird, die diese

Funktionen effizient vereint und damit den Workflow weiter optimiert.

Fazit

Schablonennavigierte Implantationen im zahnlosen Kiefer weisen tendenziell größere Abweichungen auf als im teilbezahnten Kiefer. Die Fixierung von Bohrschablonen mithilfe von Fixierungspins verbessert jedoch die Genauigkeit der Implantatpositionierung. CAD/CAM-Verfahren erleichtern die Planung und ermöglichen den additiven Herstellungsprozess fixierbarer Schablonen sowie von Sofortprovisorien: Durch die Verwendung sogenannter Stapelschablonen werden die Möglichkeiten des Einsatzes unterschiedlicher Schablonen und Sofortversorgungen in einem einzelnen Behandlungsfall verbessert und deren Praktikabilität in der OP stark erleichtert. Die Integration von Künstlicher Intelligenz in Planungssoftwares vereinfacht Arbeitsprozesse wie Datensegmentierung und Nervauffindung, bietet jedoch noch Entwicklungspotenzial, etwa bei der KI-unterstützten Röntgenbefundung und der virtuellen Zahnaufstellung.

Interessenskonflikt

Die Autoren erklären, dass diese Arbeit ohne kommerzielle oder finanzielle Verbindungen jeglicher Art durchgeführt wurde, die als potenzieller Interessenskonflikt ausgelegt werden könnten.

Danksagung

Die Autoren danken den Zahntechniklaboren Impladent in Aachen, Implantec in Amstetten, der Zahnwerkstatt Waschkuhn in Neuss sowie unseren Zahntechnikerinnen Frau Hernando und Frau Steeg für ihre wertvolle Unterstützung bei allen zahn-technischen Fragestellungen. Besonderer Dank gilt der Fa. Exocad und ihrem Mitarbeiter, Zahnarzt G. Ismael, für den technischen Support in Bezug auf die Implantat- und Prothetiksoftware.

Literatur

1. Jepsen S, Berglundh T, Genco R, Aass AM, Demirel K, Derks J et al. Primary prevention of peri-implantitis: managing peri-implant mucositis. *J Clin Periodontol* 2015;42(Suppl 16): S152–S157.
2. Mewes L, Hey J, Adali U. The prosthetic superstructure as a risk factor for peri-implantitis. *Dtsch Zahnärztl Z Int* 2022;4: 11–17.
3. Thieringer FM, Zarean P, Zarean P, Abazi S, Joda T. Navigierte digitale Implantologie. *Implantologie* 2021;29:269–284.
4. Buser D, Martin W, Belser UC. Optimizing esthetics for implant restorations in the anterior maxilla: anatomic and surgical considerations. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; 19(Suppl):43–61.
5. Tarnow DP, Cho SC, Wallace SS. The effect of inter-implant distance on the height of inter-implant bone crest. *J Periodontol* 2000;71:546–549.
6. Gargallo-Albiol J, Barootchi S, Salomó-Coll O, Wang HL. Advantages and disadvantages of implant navigation surgery. A systematic review. *Ann Anat* 2019;225:1–10.
7. Sailer I, Karasan D, Todorovic A, Ligoutsikou M, Pjetursson BE. Prosthetic failures in dental implant therapy. *Periodontol* 2000 2022;88:130–144.
8. D’Haese J, Ackhurst J, Wismeijer D, De Bruyn H, Tahmaseb A. Current state of the art of computer-guided implant surgery. *Periodontol* 2000 2017;73:121–133.
9. Gintaute A, Att W. Komponenten des digitalen Workflows in der Implantologie. *Implantologie* 2017;25:7–20.
10. Linkevicius T, Puisys A, Vindasiute E, Linkeviciene L, Apse P. Does residual cement around implant-supported restorations cause peri-implant disease? A retrospective case analysis. *Clin Oral Implants Res* 2013;24:1179–1184.
11. Marquardt P, Witkowski S, Strub J. Three-Dimensional Navigation in Implant Dentistry. *Eur J Esthet Dent* 2007;2:80–98.
12. Wolfart S, Harder S. Bohrschablonen von einfach bis 3-D Teil 2: Dreidimensional geplante und schablonengeführte Implantation. *Quintessenz* 2015;66:919–928.
13. Waltenberger L, Wolfart S. SafetyCrown: a patient-centered, fully digital concept for immediate implant restoration following the one-abutment/one-time concept—a pilot case series of a new treatment concept. *Int J Implant Dent* 2022; 8:35.
14. Shi Y, Wang J, Ma C, Shen J, Dong X, Lin D. A systematic review of the accuracy of digital surgical guides for dental implantation. *Int J Implant Dent* 2023;9:38.
15. Chan MH. All-on-4 Concept Update. *Dent Clin North Am* 2021;65:211–227.
16. Costa AJM, Teixeira Neto AD, Burgoa S, Gutierrez V, Cortes AA-O. Fully Digital Workflow with Magnetically Connected Guides for Full-Arch Implant Rehabilitation Following Guided Alveolar Ridge Reduction. *J Prosthodont* 2020;29: 272–276.
17. Lan R, Marteau C, Mense C, Silvestri F. Current knowledge about stackable guides: a scoping review. *Int J Implant Dent* 2024;10:28.
18. Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D, Coucke W, Evans C. The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2018;29(Suppl 16):416–435.
19. Azevedo M, Correia F, Faria Almeida R. Accuracy of Implant Guided Surgery in Fully Edentulous Patients: Prediction vs. Actual Outcome-Systematic Review. *J Clin Med* 2024;13:5178.
20. Tuna T, van Iperen O, Smeekens S. Die dreidimensionale navigierte Implantation und Sofortversorgung mit dem Expert-Ease-Konzept – Ein Fallbericht. *Implantologie* 2009;17: 437–452.

Statically navigated implant templates in the digital workflow

KEY WORDS

backward planning, static navigation, drill guide, guided implantology, digital workflow, cone beam computed tomography (CBCT), CAD/CAM, 3D printing, implant prosthetics, immediate loading

ABSTRACT

Prosthetically oriented implantology is based on preoperative 3D planning of the implant position to achieve optimal functional, biologic, and esthetic results. Using optical scanners, digital volume tomography (DVT), planning software, and CAD/CAM systems, implant planning and the fabrication of static navigation guides can be performed without the need for physical models. While neighboring teeth serve as reference points in partially edentulous jaws, the lack of stable structures in edentulous jaws complicates both the planning and execution of the implantation. Therefore, guided implantations in edentulous jaws show greater deviations compared to partially edentulous cases. Clinical cases are presented to demonstrate the digital workflow in edentulous jaws, focusing on CAD/CAM-assisted planning and fabrication of fixable drilling guides, as well as the implantation followed by immediate restoration. Stackable guides are particularly suited for this purpose. Although the digital workflow is time-intensive in preparation, it shortens the surgical time and enables immediate restoration.



Taskin Tuna

Dr. med. dent.

Sara Setlaoui

Zahnärztin

Felix Bußmeier

Zahntechniker, cand. med. dent.

Stefan Wolfart

Prof. Dr. med. dent.

Alle:

Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Biomaterialien

Zentrum für Implantologie

Uniklinik der RWTH Aachen

Pauwelsstr. 30

52074 Aachen

Taskin Tuna

Korrespondenzadresse:

Dr. Taskin Tuna, E-Mail: ttuna@ukaachen.de