



Nutzen und Vorgehen bei der dreidimensionalen Implantatplanung

J. Neugebauer¹, L. Ritter¹,
R. A. Mischkowski¹, M. Scheer¹,
V. E. Karapetian¹, K.-H. Scholz²,
J. E. Zöller¹

■ Lernziele

Der Leser soll nach Durcharbeiten des Beitrags

- über den aktuellen Stand der dreidimensionalen zahnärztlichen Diagnostik informiert sein,
- den Unterschied zwischen Navigation und 3D-basierten Implantat-Schablonen kennen,
- die verschiedenen Schablonentechniken mit ihren Vor- und Nachteilen auswählen können.

Die präoperative Planung der Implantatposition stellt den wesentlichen Schritt für eine erfolgreiche Versorgung unter ästhetischen und funktionellen Gesichtspunkten dar. Dabei ist das präoperative Knochenangebot zu evaluieren und es sind die prothetischen Gesichtspunkte zu beachten. Durch verschiedene augmentative Maßnahmen können die Implantate heute weitestgehend unter prothetischen Gesichtspunkten inseriert werden. Dennoch ist es notwendig, die anatomischen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Für die klassische Implantatplanung kann das Knochenangebot durch zweidimensionale Schichtaufnahmen oder durch Zahnfilme ausreichend bestimmt werden. Die Panoramaschichtaufnahme ermöglicht die Lokalisation der anatomischen Strukturen wie N. alv. inf., Boden der Kieferhöhle und der Nase, Unterkieferrand und Restbezaehlung. Systembedingt zeigen diese Schichtaufnahmen eine Vergrößerung von 25–30% der anatomischen Strukturen, die technisch bei den Geräten schwankt und auch von der Positionierung der Patienten bei der Aufnahme abhängt. Daher sollten solche Aufnahmen am günstigsten mit Referenzkugeln aus Metall angefertigt werden, damit die reale

Größe der anatomischen Strukturen berechnet werden kann.

Dennoch zeigen sich verschiedene Einschränkungen, da das horizontale Knochenangebot nicht bestimmt werden kann oder durch die Schichtaufnahme Überlagerungen zu einer falschen Einschätzung des vertikalen Knochenlagers führen können. Dadurch kann es zu einer Fehlpositionierung von Implantaten kommen, die auch die Verletzung von wichtigen anatomischen Strukturen bedeuten kann.

Die Anwendung des Zahnfilms im Rahmen der Planung wird bei einer Sofortimplantation in der Oberkieferfront empfohlen, da die detaillierten Strukturen, die für die Implantatpositionierung notwendig sind, auf dieser Aufnahme besser beurteilt werden können als auf der klassischen Schichtaufnahme. Da die Beurteilung des vertikalen Knochenangebots von der jeweiligen Positionierung von Röntgenstrahler und Zahnfilm im Bezug zum Knochenangebot abhängt, kann es auch bei dieser Aufnahmetechnik zu einer Verzerrung des Knochenangebots kommen.

¹ Klinik und Poliklinik für Zahnärztliche Chirurgie und für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität zu Köln

² pro Implant GmbH, Bonn

3D-Bildgebung

Daher fordern heute verschiedene Autoren eine Anwendung der dreidimensionalen Bildgebung [1–3]. Diese Methoden erlauben dem Zahnarzt eine verzerrungsfreie, metrisch korrekte räumliche Diagnostik unter Einbeziehung der anatomischen Strukturen und, sofern die Aufnahme mit einer zahntechnischen Aufstellung durchgeführt wurde, auch unter prothetischen Gesichtspunkten. Hier steht neben der klassischen Computertomografie (CT) seit einigen Jahren die digitale Volumentomografie zur Verfügung [4].

Bei der digitalen Volumentomografie (DVT) wird anstelle eines kontinuierlichen Strahlenbündels bei der Computertomografie mit einem

fächerförmigen Strahl eine Serie von Einzelaufnahmen mittels eines flächigen Detektors angefertigt. Die Rekonstruktion dieser Rohdaten zu einem dreidimensionalen Datensatz erfolgt dann durch die Algorithmen der jeweiligen Software des Geräteherstellers [5]. Der Schichtabstand der DVT-Rekonstruktion hängt direkt von der Auflösung des Bildverstärkers ab. Bei der CT ist die Auflösung abhängig vom Schichtabstand und somit bedeutet eine geringe Schichtung eine erhöhte Strahlenexposition.

Als größter Vorteil der CT ist die höhere Bittiefe der Röntgendetektoren zu sehen, die auch zum Teil eine diagnostische Beurteilung von Weichgewebstrukturen erlaubt. Demgegenüber ist die Strahlenbelastung einer DVT-Aufnahme für die präimplantologische Diagnostik wesentlich geringer, Aussagen über die Weichgewebstrukturen sind jedoch nur bedingt zu treffen [6]. Dieser Nachteil kann durch entsprechend gestaltete Bohrschablonen jedoch kompensiert werden (Abb. 1–3).

Die modernen Geräte sind für die Anwendung am sitzenden oder stehenden Patienten konzipiert, sodass für die zahnärztliche Praxis ein relativ geringer Platzbedarf entsteht

und die Patienten nicht in die oftmals als beengend empfundene Röhre der CT positioniert werden müssen. Die DVT ist im Vergleich zur CT wesentlich günstiger in der Anschaffung und kann nach der neuen Röntgenverordnung auch durch den Zahnarzt betrieben werden. Dies hat zu einer deutlichen Verbreitung dieser Technik in der zahnärztlichen Diagnostik geführt [7].

Indikation

Besonders hilfreich ist die 3D-Bildgebung bei schwierigen anatomischen Gegebenheiten, z.B. bei komplexen Versorgungen von genetisch bedingter Oligodontie, Zustand nach umfangreicher Kieferkammaugmentation, Vorbereitung der Implantatversorgung bei der Sofortversorgung oder der Implantatinsertion ohne Weichgewebspräparation [2, 8]. Durch eine präzise Bestimmung des Knochenangebots kann eine ausreichende knöcherne Abdeckung der Implantatoberfläche erreicht werden, damit es nicht bereits kurz nach Eingliederung der prothetischen Arbeit zu Komplikationen im Sinne einer Periimplantatitis kommen kann [9].

Bei der Behandlungsplanung muss aber auch den Anforderungen des Patienten nach einer minimal-invasiven und zeitnahen Behandlung Rechnung getragen werden. Durch eine optimale Ausnutzung des vorhandenen Knochenangebots kann der Umfang der augmentativen Maßnahmen reduziert werden [10]. Die prothetisch orientierte Implantatplanung vermeidet auch ungünstige Implantatpositionen, die keine ausreichenden Hygienemaßnahmen erlauben oder eine unphysiologische Zahnform bedingen. Für eine gute Langzeitprognose der Implantate sollten die Mindestabstände gemäß Tab. 1 eingehalten werden.

Zur Planung der Implantatposition sowie der intraoperativen Umsetzung sind in der täglichen Praxis inzwischen verschiedene Verfahren etabliert, die je nach Komplexität

| Anatomische Struktur | Abstand |
|----------------------|-------------------------------------|
| Kieferhöhle | 0 mm |
| Nasenboden | 1 mm |
| N. mandibularis | 1–2 mm |
| F. mentale | 2 mm |
| Zähne | 1 mm, bei dünnen Implantaten 0,5 mm |
| zwischen Implantaten | 2–3 mm |

Tab. 1 Mindestabstände für die Implantatplanung.

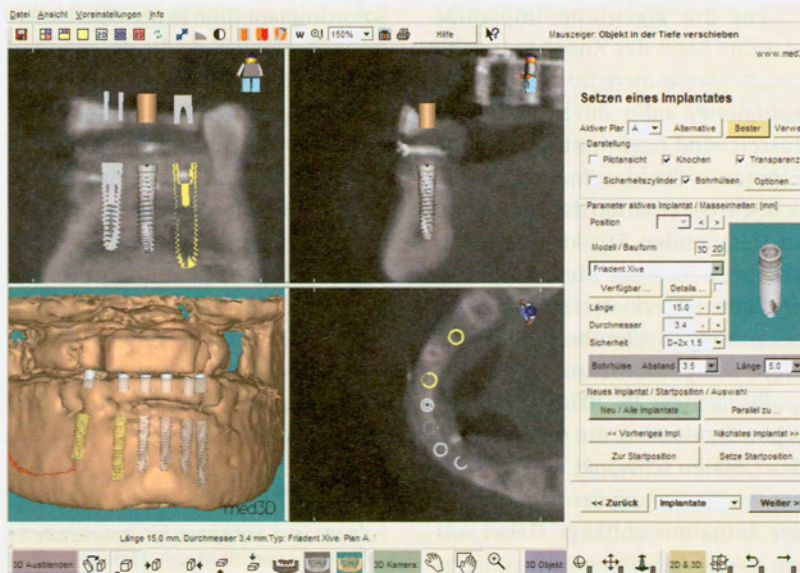


Abb. 1 Planung nach Anfertigung einer DVT mit dem med3d-Verfahren bei Oligodontie.

der Versorgung angewendet werden sollten. Die detaillierte Planung wird dann mittels einer Bohrschablone umgesetzt, die die geplante geometrische Position der Implantate bzw. der entsprechenden ersten Tiefenbohrung relativ zum Patienten beinhaltet. Bei der Navigation werden entsprechende Schablonen oder Schienen für die Referenzierung der Instrumente zu den anatomischen Gegebenheiten benötigt.

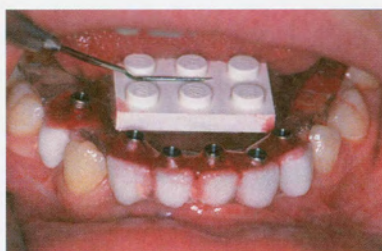


Abb. 2 Med3d-Schablone mit Referenzbaustein und bereits eingearbeiteten Bohrhülsen.

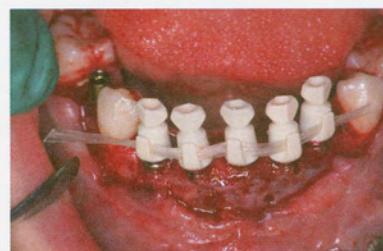


Abb. 3 Vorbereitung der Sofortversorgung mit verblockten Kunststoffkappchen.

Schablonendesigns

Für die korrekte Implantatpositionierung ist bei den meisten Implantatsystemen die korrekte Platzierung der ersten Tiefenbohrung verantwortlich. Dazu wird in der Regel ein Bohrer mit einem Durchmesser von ca. 2 mm verwendet. Dieser Bohrer bestimmt den Durchmesser der Bohrhülse, die somit für jedes Implantatsystem überprüft werden muss. Der Bohrer sollte in der Hülse einen sicheren und geführten Lauf zeigen, jedoch ohne dabei zu einem Spanabtrag zu führen [11]. Damit ein unbemerkter Spanabtrag nicht zu Fremdkörperreaktionen führt, sollten die Hülsen aus Titan gefertigt sein. Neben den Implantatherstellern bieten auch weitere Firmen Hülsen mit unterschiedlichen Designs an. Neben der Passung des Bohrers sollte bei den Hülsen auf eine ausreichende Retention geachtet werden, damit diese in der Bohrschablone optimal fixiert sind.

Vorbereitung dreidimensionale Bildgebung

Damit das Ziel der implantatprothetischen Versorgung bereits bei der dreidimensionalen Bildgebung simuliert werden kann, empfiehlt sich eine Wachsaufstellung und Umsetzung durch radioopakes Material. Dazu wird eine Schablone unter Verwendung von konfektionierten radioopaken Zähnen hergestellt, oder es wird über die Wachsaufstellung eine Tiefziehschiene gefertigt. Die Tiefziehschiene wird dann mit BaSO₄- oder ZrO-dotiertem Kunst-

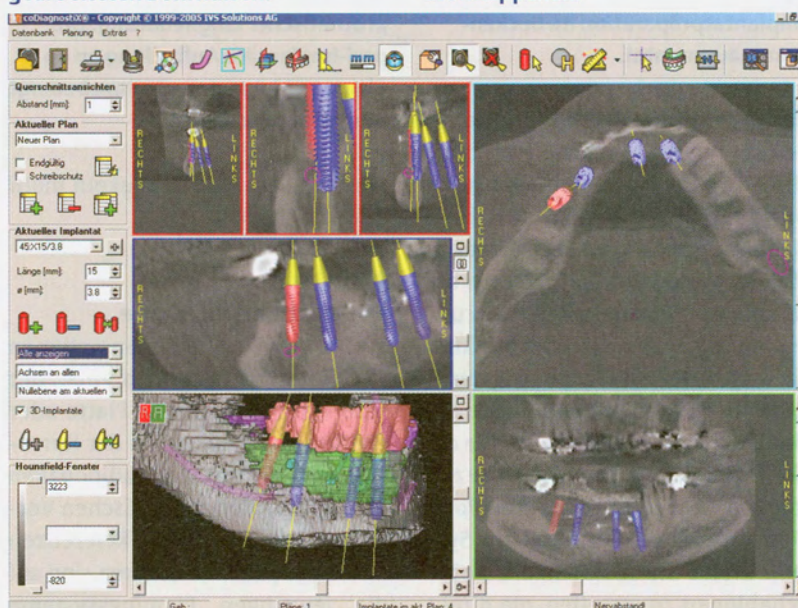


Abb. 4 Planung nach umfangreicher Defektrekonstruktion bei Tumorektomie im anterioren Unterkiefer (grün: Darstellung Augmentat).

stoff aufgefüllt, oder es werden Guttaperchastifte in der idealen Aufbauposition positioniert. Bei der individuellen Herstellung über die Tiefziehschiene kann auch bei ungünstigem Knochenangebot ein Positionieren der prothetischen Simulation auf der Schleimhaut erfolgen, damit auch bei der DVT die Weichgewebsgrenzen genau dargestellt werden können. Bei der Herstellung der Schablonen ist darauf zu achten, dass im teilbezahnten Kiefer eine ausreichende und reproduzierbare Fixierung an der Restbezahnung gegeben ist.

Damit die Übertragung der Röntgendaten zwischen den Planungsprogrammen und der klinischen Situation möglich ist, sind bei den meisten Programmen systemspezifische Referenzen notwendig. Diese

sind notwendig, damit bei der Übertragung zwischen den Bohrständen und dem Softwareprogramm eine möglichst hohe Detailtreue gegeben ist. Bei der Bildgebung ist besonders darauf zu achten, dass Metallartefakte sich nicht in der Projektionsebene der Referenz abbilden. Bei umfangreichen prothetischen Rekonstruktionen der Restbezahnung kann durch eine Kippung der Gantry-Neigung bei der CT, oder durch eine Metallartefaktreduktion durch Entfernung der zu erneuernden Suprakonstruktion bei der CB-Aufnahme, die Bildgebung optimiert werden. Die Anwendung der Schablonen mit einer Referenz hat den Vorteil, dass routinemäßig die oben beschriebene radioopake Darstellung der prothetischen Versorgung in der Bildgebung wiedergegeben wird.



Abb. 5 Positionierung der mittels IVS-Verfahren hergestellten Schablone ohne Referenzplatte für Implantatpräparation im Beckenkammaugmentat.

■ Dreidimensionale Planung

Als erstes System zur dreidimensionalen Implantatplanung wurde bereits vor über 10 Jahren das Simplant-System [12] (Materialize, Belgien) vorgestellt. Durch die detaillierte Diagnostik können unter anatomischen Gesichtspunkten die Implantate chirurgisch optimal geplant werden. Jedoch fehlte bei den Systemen der ersten Stunde die Möglichkeit, die Planung in Bezug zur prothetisch gewünschten Position umzusetzen. Das Simplant-System bietet die Möglichkeit, Bohrschablonen zu erstellen, die direkt auf den Knochen aufgesetzt werden können. Diese Fixierung am Knochen empfiehlt sich besonders für den zahnlosen Kiefer, da hier keine Positionsänderungen der Schablone nach der Bildung des Muko-Periost-Lappens auftreten. Beim Simplant-System werden die Schablonen direkt auf Basis der Bilddaten erzeugt; somit ist bei der Bildgebung keine systemspezifische Referenz notwendig.

Bei den übrigen Planungssystemen, die eine 3D-Bildgebung verwenden, muss der Patient eine Schablone mit einer systemspezifischen Referenz während der Aufnahme in der genau reproduzierbaren Endposition tragen [13]. Daher ist es notwendig, dass diese Schablonen nach der zahntechnischen Herstellung vom Behandler auf den korrekten Sitz überprüft werden. Bei mehreren möglichen Endpositionen muss die Schablone so modifiziert



Abb. 6 Röntgenkontrolle nach prothetischer Eingliederung. Die peri-implantäre Aufhellung an Implantat 41 ist augmentationsbedingt und nicht sondierbar.

werden, dass kein Schaukeln mehr auftritt (Abb. 4–6).

■ Dezentrale Schablonensysteme

Bei den Schablonensystemen mit einer Referenz wird entweder eine systemspezifische Platte oder ein Referenzbaustein an der Kunststoffschiene mit der radioopaken Darstellung der prothetischen Versorgung fixiert. Diese Referenzen mit radioopaken Strukturen sind auf die jeweiligen Planungssysteme abgestimmt und müssen in der genauen, vom Hersteller angegebenen Position verwendet werden, damit eine Erkennung in der Planungssoftware gegeben ist. Bei manchen Systemen (Med3d, Heidelberg) werden zusätzliche Markierungen mittels Guttaperchastiften empfohlen, um die Genauigkeit der Erkennung der Referenz zu überprüfen. Bei der Anwendung von großflächigen Referenzen ist ggf. darauf zu achten, dass diese den manuellen Handlungsspielraum des Operateurs nicht einschränken. Grundsätzlich sollte darauf geachtet werden, dass die Bohrschablonen so kompakt wie möglich gestaltet werden. Beim NobelGuide (Nobelbiocare, Göteborg, Schweden) werden als Referenz mehrere Guttaperchastifte eingearbeitet. Zur genauen Segmentierung der Schablone erfolgt neben dem Patientenscan mit der Planungsschablone ein zusätzlicher Scan nur mit

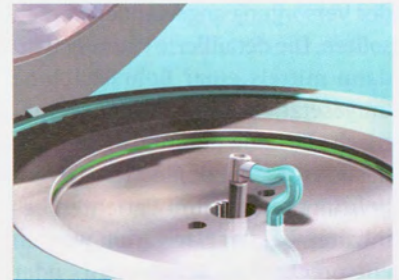


Abb. 7 Thermoplastische Ausrichtung der Bohrhülse mit speziellem Kunststoffhalter in CAM-Vorrichtung.

der Schablone, damit ein 2. Datensatz für die genaue Segmentierung zur Verfügung steht.

Die Schnittstelle der Planungssoftware zu den Bilddaten besteht über den DICOM Standard [14, 15]. Je nach CT-Gerät, besonders bei älteren Versionen, können diese Formate aber Kompatibilitätsprobleme zeigen. Daher sollte vor der Aufnahme mit dem Radiologen geklärt werden, ob schon spezifische Erfahrungen mit implantologischer Planungssoftware existieren. Bei den DVT-Geräten treten in der Regel keine Kompatibilitätsprobleme auf, da die Planungsprogramme mit diesen Geräten abgestimmt wurden.

Die Software für die Positionierung zeigt in der Regel mehrere Bearbeitungsebenen. Dabei sind zuerst die Bildqualität und die Referenz zu bestimmen, damit ein dreidimensionales Modell des Kiefers generiert werden kann. In der 2. Stufe erfolgt anhand der orthogonalen Schichten und des 3D-Modells die Positionierung der Implantate. Die Implantatgeometrien der führenden Hersteller sind in Bibliotheken hinterlegt, sodass mit realitätsnahen Implantatkörpern gearbeitet werden kann. Durch die optionale Wahl von Sicherheitszylindern lässt sich der Abstand zu den Implantaten und den anatomischen Strukturen gut darstellen (Abb. 8).

Je nach vorgesehener Umsetzung der Planung erfolgt die weitere Verarbeitung der Planungsdaten. Dabei wird prinzipiell zwischen der

Schablonentechnik und der Navigation unterschieden.

Schablonenherstellung in Zentren

Bei den Schablonentechniken kann die Herstellung entweder zentral bei den jeweiligen Systemanbietern oder dezentral beim anwendenden Zahnarzt oder Dentallabor stattfinden. Bei den beiden zentralen Verfahren (Simplant und NobelGuide) werden die Planungsdaten zentral an die Firma übertragen oder versandt. Dann wird eine Bohrschablone mit Hilfe der Stereolithografie erstellt. Beim Simplantverfahren werden 3 unterschiedliche Schablonen geliefert, die mit 3 unterschiedlichen Hülsendurchmessern für die jeweils 3 initialen Systembohrer der Implantatsysteme ausgestattet sind. Das NobelGuide-System arbeitet mit dem jeweils größten benötigten Hülsendurchmesser, der dann zur Insertion des Implantats vorgesehen ist. Für die unterschiedlichen Implantatbohrungen stehen dann Schlüssel zur Verfügung, die eine zentrische Bohrung ermöglichen. Beim NobelGuide-System kann mit der Schablonenbestellung auch die Bestellung für alle benötigten Systemkomponenten wie Implantate und Aufbau- teile ausgelöst werden. Eine Anwendung der NobelGuide mit anderen Implantatsystemen ist aber nicht möglich. Bei diesen beiden Systemen können die Hülsen so in der vertikalen



Abb. 8 Positionierung der Halter in systemspezifischem Adapter des Tactile-Sensing-Systems.

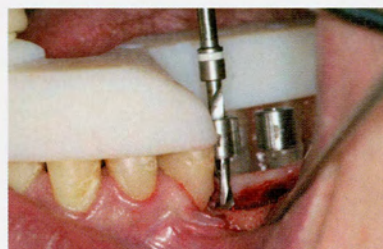


Abb. 9 Tactile-Sensing-System: klinische Darstellung (© Prof. Dr. Dr. R. Ewers, Wien).

Dimension positioniert werden, dass auch die Tiefe der Implantataufbereitung gemäß der Planung erfolgt.

Eine Zwischenform zwischen der zentralen und dezentralen Herstellung stellt das Tactile-Verfahren (Tactile Technologies, Rehovot, Israel) dar. Hier werden die Hülsen durch eine thermoplastische Stabilisierung der Halter durch ein computergesteuertes Verfahren positioniert [16]. Bei diesem Verfahren steht als Bildgebung auch eine mechanische Abtastung des Knochenprofils durch feine Nadeln zur Verfügung. Da dieses Verfahren erst kürzlich vorgestellt wurde, sind die Erfahrungen noch gering (Abb. 7–9).

Dezentrale Schablonenherstellung

Bei der dezentralen Schablonenherstellung (Implant3d, Med3d, Heidelberg, CoDiagnostix, Chemnitz) werden in der letzten Anwendungsstufe der Planungssoftware Arbeitsblätter generiert, damit der Zahn-

techniker die Präzisionsinstrumente für die Positionierung der Bohrschablonen einstellen kann. Der Zahn- techniker erhält nach der Bildgebung die Schablone mit der prothetischen Aufstellung für die weitere Bearbeitung. Je nach Planungsprogramm wird anhand der Referenzelemente die Schablone im jeweiligen Positioniersystem fixiert, damit die vom Planungsprogramm erzeugten Daten übertragen werden können. Durch die Positionierung in den verschiedenen Achsen wird die Schablone für jede einzelne Implantatposition so ausgerichtet, dass die genaue Hülsenposition definiert wird. Dazu wird dann mit der systemspezifischen Bohreinheit die radioopake prothetische Aufstellung präpariert, damit an den vorgesehenen Positionen die Hülsen platziert werden. Beim einzelnen Programm kann die Hülse auch in der Höhe so positioniert werden, dass der verwendete Implantatbohrer mit Anschlag verwendet werden kann.

| Hersteller | materialize | NobelBiocare | med3D | IVS | Tactile Sensing |
|---|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|
| System | Simplant | NobelGuide | implant3D | coDiagnostiX | Tactile Technology |
| Internet | www.simplant.com | www.nobelbiocare.de | www.med3d.de | www.ivs-solutions.com | www.tactile-tech.com |
| Röntgen- schablonen- Herstellung | vor Ort im Dentallabor | vor Ort im Dentallabor | vor Ort im Dentallabor | vor Ort im Dentallabor | keine Röntgen- technik zwingend notwendig |
| Schablonen- herstellung | zentral beim Systemanbieter | zentral beim Systemanbieter | vor Ort im Dentallabor | vor Ort im Dentallabor | vor Ort im Dentallabor |
| notwendige Hardware | keine | keine | Positionierer bei Zahntechniker | Positionierer bei Zahntechniker | Formgeber für Hülsenhalter |

Tab. 2 Vergleich der Schablonensysteme.

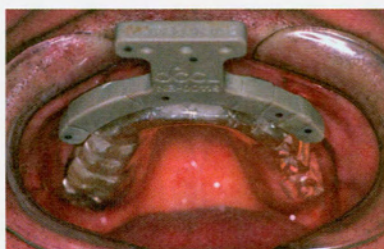


Abb. 10 Vorbereitung der Referenzschablone mit Guttaperchapin für 3D-Bildgebung.

Dies bedeutet zusätzliche Sicherheit, z.B. im posterioren Unterkiefer. Nach Fixierung aller Hülsen kann dann operiert werden.

Navigationssysteme

Bei der Anwendung der navigierten Implantationsverfahren (Robodent, Berlin, MONA_DENT, Dortmund, IVS, Chemnitz, DenX, TelAviv, Israel, Artma, Wien, Österreich) ist das Vorgehen bis zur Planung der Implantatposition dem der Schablontechnik sehr ähnlich. Zunächst werden die dreidimensionalen Daten mit der Schablone und dem jeweiligen systemspezifischen Referenzmarker gewonnen [17]. Der Referenzmarker wird bei der Navigation nicht nur für die Erkennung in der Planungssoftware benötigt, sondern dient auch der Befestigung der Sensoren für die Erkennung der Schablone während der Operation. Die Implantatpositionen können mithilfe der orthogonalen Schichten und zur Orientierung am dreidimensionalen Modell geplant werden (Abb. 10–12).

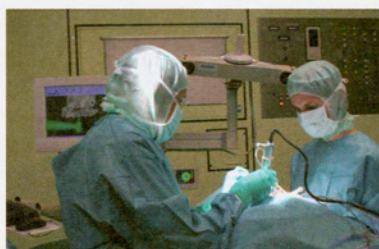


Abb. 11 Positionierung des Winkelstücks nach Vorgabe der Navigationssoftware (grüne Darstellung des Winkelstücks auf PC-Bildschirm).

Anstelle der Ausgabe der Positionierungsinformation bei der Schablonentechnik zeigen die Navigationssysteme einen Programmteil, der die intraoperative Navigation erlaubt. Da bei der Navigation der Bohrer nicht durch Titanhülsen geführt wird, muss der Anteil mit der prothetischen Aufstellung an der Schablone präoperativ entfernt werden. Intraoperativ wird die Schablone mit der Referenz dem Patienten eingesetzt. An der Referenz wird ein Bogen mit reflektierenden oder sendenden Kugeln befestigt, damit die Navigationskamera die Position des Patienten erkennen kann [18, 19]. Am Winkelstück wird ebenfalls eine Referenz befestigt, damit auch die Position des Winkelstücks mit dem Bohrer erkannt wird. Zwingende Voraussetzung für eine einwandfreie Funktion der Navigationseinheit ist jedoch, dass direkter Sichtkontakt zwischen der Navigationskamera zu den jeweiligen Referenzen besteht.

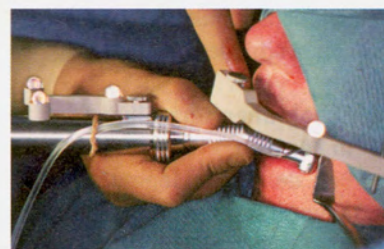


Abb. 12 Detailaufnahme des Referenzhalters mit Reflexionskugeln des Robodent-Systems.

In Echtzeit werden auf einem Monitor nun geplante Position und wirkliche Position des Winkelstücks, relativ zum Patienten, angezeigt. So kann der Operateur die Position des Bohrers in Bezug auf die anatomische Struktur und die gewünschte Planung verfolgen und entsprechend korrigieren [19]. Neben der Implantatbohrung kann auch die Implantatinsertion über das Winkelstück navigiert erfolgen. Die mithilfe der Navigation eingesetzten Implantate lassen sich durch die abgestimmte prothetisch orientierte Planung einfach zahntechnisch versorgen.

Die exakte Bestimmung der Implantatpositionen und die Kenntnis der anatomischen Strukturen erlaubt eine reduzierte Weichgewebsspräparation [2] auch bei geringem Knochenangebot. Durch die genaue präoperative Planung reduziert sich die Operationszeit. Außerdem ist die prothetische Versorgung wesentlich einfacher, da die Pfeilerpositionen nach den prothetischen Erfordernissen ausgewählt wurden.

| Hersteller | GamBit Automation IVS | | robodent | dentX | Medlibre |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|
| System | MONA_DENT | coDiagnostiX | Robodent | IGI | Artma |
| Internet | www.med3d.de | www.ivs- | www.robodent.com | www.denx.com | www.medlibre.org |
| Röntgen-schablonen-Herstellung | vor Ort im Dentallabor | vor Ort im Dentallabor | vor Ort im Dentallabor | vor Ort im Dentallabor | vor Ort im Dentallabor |
| Planungssoftware | Implant 3d | coDiagnostiX | jeweils eigene Planungssoftware | jeweils eigene Planungssoftware | jeweils eigene Planungssoftware |
| Sensorik | passive Infrarot | passive Infrarot | passive Infrarot | aktive Infrarot | passive Infrarot alternativ Ultraschall |

Tab. 3 Vergleich der Navigationssysteme.

Da die verschiedenen Planungsverfahren an unserer Klinik je nach Ausgangssituation und prothetisch angestrebter Versorgung ausgewählt werden, sind auch die Arbeitsabläufe unterschiedlich (Tab. 2 und 3). Besonders für das Implantat 3d ist jedoch bei der zeitgleichen Planung im Ober- und Unterkiefer eine 2fache Bildgebung notwendig, da die Referenzbausteine oberhalb der Okklusionsebene positioniert werden und die Mundöffnung in der Regel für beide Referenzen auf einmal nicht ausreichend ist.

Werden die Techniken auf Basis der dreidimensionalen Bildgebung angewandt, ist ein erhöhter Planungsaufwand notwendig. Dieser Aufwand wird bei den Schablonen mit einer reduzierten Operationszeit und einer optimalen prothetischen Positionierung kompensiert. Bei den Navigationssystemen hat der Behandler selbst in der Operation noch viele Freiheiten bei der Wahl der Implantatposition. Diese Freiheit und der hohe apparative Aufwand erhöhen gerade bei nicht-routinemäßiger Anwendung dieser Verfahren die Operationszeit.

■ Diskussion

Die Implantatplanung mithilfe von Bohr- schablonen mit Titanhülsen ermöglicht bei abgestimmter Vorgehensweise zwischen Chirurg, Prothetiker und Zahntechniker eine sichere Operation und eine einfache prothetische Versorgung. In den Routinefällen ist die Anwendung der zahntechnisch hergestellten Schablonen auf Basis einer zweidimensionalen radiologischen Diagnostik ausreichend.

Die Genauigkeit der dreidimensionalen Systeme liegt im Bereich von < 1 mm; dies reicht in der Regel für Implantatplanungen aus [20, 21]. Die Strahlenbelastung ist bei den sehr genau zeichnenden CT deutlich höher als bei den CB. Daher wird für die Herstellung der Implantat- schablonen in der Regel auf die Bildgebung mittels CB zurückgegriffen.

Die Nutzung der dreidimensionalen Bildgebung ermöglicht, besonders mit vorbereiteten radioopaken prothetisch orientierten Strukturen, eine detaillierte Planung unter anatomischen und prothetischen Gesichtspunkten. Der zahntechnische Aufwand vor der Operation ist zwar höher als beim konventionellen Vorgehen, steht aber in keinem Verhältnis zu den Kosten und den Komplikationen bei prothetisch ungünstig gesetzten Implantaten [22].

Die Anwendung der Navigation erfordert heute noch einen sehr hohen apparativen Aufwand, sodass die Operationszeit je nach Prakti-

| Schablone auf Basis zweidimensionaler Bildgebung | Schablone auf Basis dreidimensionaler Bildgebung | Navigation |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> keine räumliche Information Schnittstelle ZA-ZT geringer Planungsaufwand geringe Kosten | <ul style="list-style-type: none"> Kalibrierung der Instrumente durch ZT Schnittstellen ZA-Radiologe-ZT Planungsaufwand beim ZT einfache Nerverkennung Abstützung auf Knochen Kosten für Zahntechnik und Bildgebung | <ul style="list-style-type: none"> apparativer operativer Aufwand Schnittstellen ZA-Radiologe-ZT Planungsaufwand beim ZA intraoperative 3D-Visualisierung Modifizierung der Schablone notwendig intraoperative Anpassung möglich Liquidation navigierte Planung sowie Insertion möglich |

Tab. 4 Vergleich der Planungstechniken (ZA = Zahnarzt, ZT = Zahntechniker).

kabilität des Systems selten verkürzt ist. Der operative Aufwand mit der Justierung der Instrumente und der optischen Orientierungselemente lohnt sich nur für Zentren, die diese Systeme häufig anwenden, da die Systeme in der Regel ortsgebunden sind und nicht von mehreren Praxen routinemäßig genutzt werden können [23].

Aufgrund des zusätzlichen apparativen Aufwands bei den Navigationssystemen zeichnen sich die Schablonensysteme durch eine kurze Behandlungszeit am Patienten und hohe Genauigkeit der Implantatpositionierung aus, da die Vorbereitungen in Zusammenarbeit mit dem Zahntechniker unter prothetischen Aspekten erbracht werden. Durch die modernen Datenübertragungen der Telekommunikation ist, gerade bei der Navigation, auch eine Supervision möglich; daher sind aus den Bereichen der Telemedizin Operationen denkbar, bei denen ein Spezialist ortsungebunden eine Operation überwachen kann. Diese Verfahren stehen dem Implantologen jedoch zurzeit noch nicht zur Verfügung [1].

Danksagung

Besonderer Dank gilt Prof. Dr. Dr. R. Ewers für die frühen und intensiven Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der computerunterstützten Chirurgie und das zur Verfügung stellen der Abbildungen 7–9.

Literatur

- Ewers R, Schicho K, Undt G, et al. Basic research and 12 years of clinical experience in computer-assisted navigation technology: A review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2005; 34: 1–8
- Casap N, Tarazi E, Wexler A, Sonnenfeld U, Lustmann J. Intraoperative computerized navigation for flapless implant surgery and immediate loading in the edentulous mandible. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005; 20: 92–98
- Fortin T, Champeleux G, Bianchi S, Butois H, Coudert JL. Precision of transfer of preoperative planning for oral implants based on cone-beam CT-scan images through a robotic drilling machine. *Clin Oral Implants Res* 2002; 13: 651–656
- Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: Preliminary results. *Eur Radiol* 1998; 8: 1558–1564
- Sato S, Arai Y, Shinoda K, Ito K. Clinical application of a new cone-beam computerized tomography system to assess multiple two-dimensional images for the preoperative treatment planning of maxillary implants: Case reports. *Quintessence Int* 2004; 35: 525–528
- Hassfeld S, Streib S, Sahl H, Stratmann U, Fehrentz D, Zoller J. Low-dose-Computer-tomographie des Kieferknochens in der präimplantologischen Diagnostik. *Grenzen der Dosisreduzierung und Genauigkeit von Längenmessungen. Mund Kiefer Gesichtschir* 1998; 2: 188–193
- Danforth RA, Dus I, Mah J. 3-D volume imaging for dentistry: A new dimension. *J Calif Dent Assoc* 2003; 31: 817–823
- Mischkowski RA, Zinser MJ, Neugebauer J, Kubler AC, Zoller JE. Comparison of static and dynamic computer-assisted guidance methods in implantology. *Int J Comput Dent* 2006; 9: 23–35
- Goodacre CJ, Bernal G, Rungcharassaeng K, Kan JY. Clinical complications with implants and implant prostheses. *J Prosthet Dent* 2003; 90: 121–132
- Malo P, Rangert B, Nobre M. All-on-4 immediate-function concept with Brane-

mark System implants for completely edentulous maxillae: A 1-year retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005; 7 Suppl 1: S88–94

- Khoury F, Schmidt J, Sanftenberg U. Erfahrungen mit der Bohrrihtungsschablone bei der Insertion von IMZ-Implantaten. *Z Zahnärztl Implantol* 1991; 7: 29–32
- Mupparapu M, Singer SR. Implant imaging for the dentist. *J Can Dent Assoc* 2004; 70: 32
- Stein W, Hassfeld S, Brief J, Bertovic I, Krempin R, Muhling J. CT-based 3D-planning for dental implantology. *Stud Health Technol Inform* 1998; 50: 137–143
- Bidgood WD Jr., Horii SC. Introduction to the ACR-NEMA DICOM standard. *Radiographics* 1992; 12: 345–355
- Farman AG. Applying DICOM to dentistry. *J Digit Imaging* 2005; 18: 23–27
- Schicho KA, Wagner A, Seemann R, Shohat M, Tal H, Ewers R. Innovation in computer-assisted dental implantology: tactile sensor technology. *Int J CARS* 2006; Suppl 1: 419–421
- Hildebrandt D, Kunz A, Mehrhof J, Nelson K. Computergestützte Navigationsverfahren – ein Beitrag für die interdisziplinäre Zusammenarbeit in der oralen Implantologie. *Teamwork Interdisziplin J Proth Zahnheilkd* 2003; 6: 110–124
- Ewers R, Schicho K, Truppe M, et al. Computer-aided navigation in dental implantology: 7 years of clinical experience. *J Oral Maxillofac Surg* 2004; 62: 329–334
- Klein M, Hein A, Lueth T, Bier J. Robot-assisted placement of craniofacial implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003; 18: 712–718
- Hassfeld S, Muhling J. Comparative examination of the accuracy of a mechanical and an optical system in CT and MRT based instrument navigation. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2000; 29: 400–407
- Casap N, Wexler A, Persky N, Schneider A, Lustmann J. Navigation surgery for dental implants: Assessment of accuracy of the image guided implantology system. *J Oral Maxillofac Surg* 2004; 62: 116–119
- Gothberg C, Bergendal T, Magnusson T. Complications after treatment with implant-supported fixed prostheses: A retrospective study. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 201–207
- Weihe S, Kruse C, Franz E-P, Bonitz L, Hassfeld S. A new planning and navigation system for dental implantology – evaluation of ergonomic aspects and accuracy. *Int J CARS* 2006; Suppl 1: 421–423

Korrespondenzadresse

Dr. Jörg Neugebauer
Interdisziplinäre Poliklinik für
Orale Chirurgie und Implantologie
Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer-
und Plastische Gesichtschirurgie
der Universität zu Köln
Kerpener Str. 32
50931 Köln