

DIE CHIRURGIE IM DIGITALEN ZEITALTER

Virtuelle Chirurgie und ihre Möglichkeiten

Dr. Dr. Daniel G.E. Thiem, Dr. Matthias Gielisch, Prof. Dr. Dr. Peer W. Kämmerer

→ Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten?

Nicht nur Ihre Patienten interessieren sich für digitale Konzepte bei der Behandlung, sondern auch Sie? Der nachfolgende Artikel gibt Ihnen einen zusammenfassenden Einblick in die Welt der digital-virtuellen Mund-, Kiefer-Gesichtschirurgie und Zahnmedizin.

Zusammenfassung: Die Anwendung computergestützter Operationen ist aus dem chirurgischen Alltag der meisten Fachdisziplinen nicht mehr wegzudenken. Während sich ihr Anteil sowie das Einsatzausmaß unterscheiden, so haben die meisten verfügbaren technischen Innovationen die Verbesserung des Operationsergebnisses über eine Steigerung der Vorhersagbarkeit gemeinsam. Während Verfahren wie virtual augmented reality, mixed reality, computer vision-gestützte Techniken trotz beeindruckender Zwischenergebnisse in ihrer Entwicklung noch am Anfang stehen, haben sich Verfahren wie die dynamische Navigation ihren Weg aus den Kinderschuhen hin zu einem festen Bestandteil des chirurgischen Repertoires verschiedener Fachdisziplinen längst gebahnt. Im Hinblick auf eine sich rasant entwickelnde Technologiebranche bleibt es also spannend auf dem Gebiet der virtuellen Medizin, wobei die eingesetzte Technologie nur so gut sein kann wie derjenige, der sie bedient.

Schlüsselwörter: CAD/CAM; digitale Chirurgie; digitale Gesundheit; 3D-Druck; dynamische Navigation; statische Navigation; Dysgnathie; Rekonstruktion

Zitierweise: Thiem DGE, Gielisch M, Kämmerer PW: Die Chirurgie im digitalen Zeitalter. Z Zahnärztl Implantol 2021; 37: 164–170

DOI.org/10.3238/ZZI.2021.0164–0170

EINLEITUNG

Nach Anamnese- und Befunderhebung und Diagnosestellung erfolgt die Indikationsstellung zur Durchführung einer adäquaten Therapie. Die fortwährende Digitalisierung fast aller Lebensbereiche hat auch in der Medizin und Zahnmedizin längst Einzug gehalten. Neben telemedizinischen Anwendungen und elektronischer Archivierung ermöglicht die digitale Diagnostik auch die Verwendung der virtuellen chirurgischen Planung (Abb. 1).

Als Grundlage einer solchen Planung dient in der Regel eine dreidimensionale Bildgebung beispielsweise mit digitaler Volumentomographie, Computertomographien oder Magnetresonanztomographien. Diese können durch weitere Diagnostika wie Facescans, Intraoralscans oder digitalisierte Gipsmodelle ergänzt werden.

Um eine möglichst hohe Interoperabilität zwischen verschiedenen Systemen und Herstellern gewährleisten zu können,

sind offene Dateiformate, Schnittstellen und Standards wie Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) oder Standard Triangulation/Tessellation Language (STL), proprietären Formaten vorzuziehen.

Nach erfolgter Diagnostik werden die gewonnenen Daten und deren intrinsischen Informationen in geeigneten Planungstools zusammengeführt und die angestrebte Therapie bereits im Vorfeld computergestützt geplant (Computer Aided Design/CAD). Die Überführung der Planung auf den Patienten kann statisch beispielsweise über die Herstellung von Schablonen (Computer Aided Manufacturing/CAM) oder dynamisch unter Zuhilfenahme von Navigationsgeräten erfolgen.

Die Umsetzung des vorbeschriebenen soll in diesem Beitrag anhand von Beispielen ohne Anspruch auf Vollständigkeit der mannigfaltigen Möglichkeiten dargestellt werden.

VOR- UND NACHTEILE DER VIRTUELLEN CHIRURGISCHEN PLANUNG

Unabhängig von dem spezifischen Einsatzgebiet der virtuellen chirurgischen Planung führt deren Einsatz zu einer intensiven Beschäftigung mit dem Operationsgebiet und somit der Operationsstrategie. Davon können besonders auch junge, wenig erfahrene Anwender und sich in Weiter- und Fortbildung befindliche Kollegen profitieren.

Weiterhin kann durch die virtuelle Planung Einfluss auf die Operationszeit genommen werden, wodurch eine Reduzierung der entstehenden Kosten [21] sowie eine verringerte Komplikationsrate erreicht werden kann [22].

Gleichzeitig steigt jedoch mit Verkürzung der Operationszeit der präoperative Zeitaufwand, der für die Planung benötigt wird. Eine Sonderstellung nimmt dabei die digitale Planung von Umstellungsosteotomien ein. Diese wurden auch bereits in der Vergangenheit im Artikulator und Labor geplant. Die digitale Planung kann hier die Vorbereitungszeit verkürzen. Ein weiteres Vorteil, der sich in allen Bereichen der virtuellen chirurgischen Planung zeigt, ist der Zuwachs an Genauigkeit und Vorhersagbarkeit des Operationsergebnisses [2, 10, 11, 26].

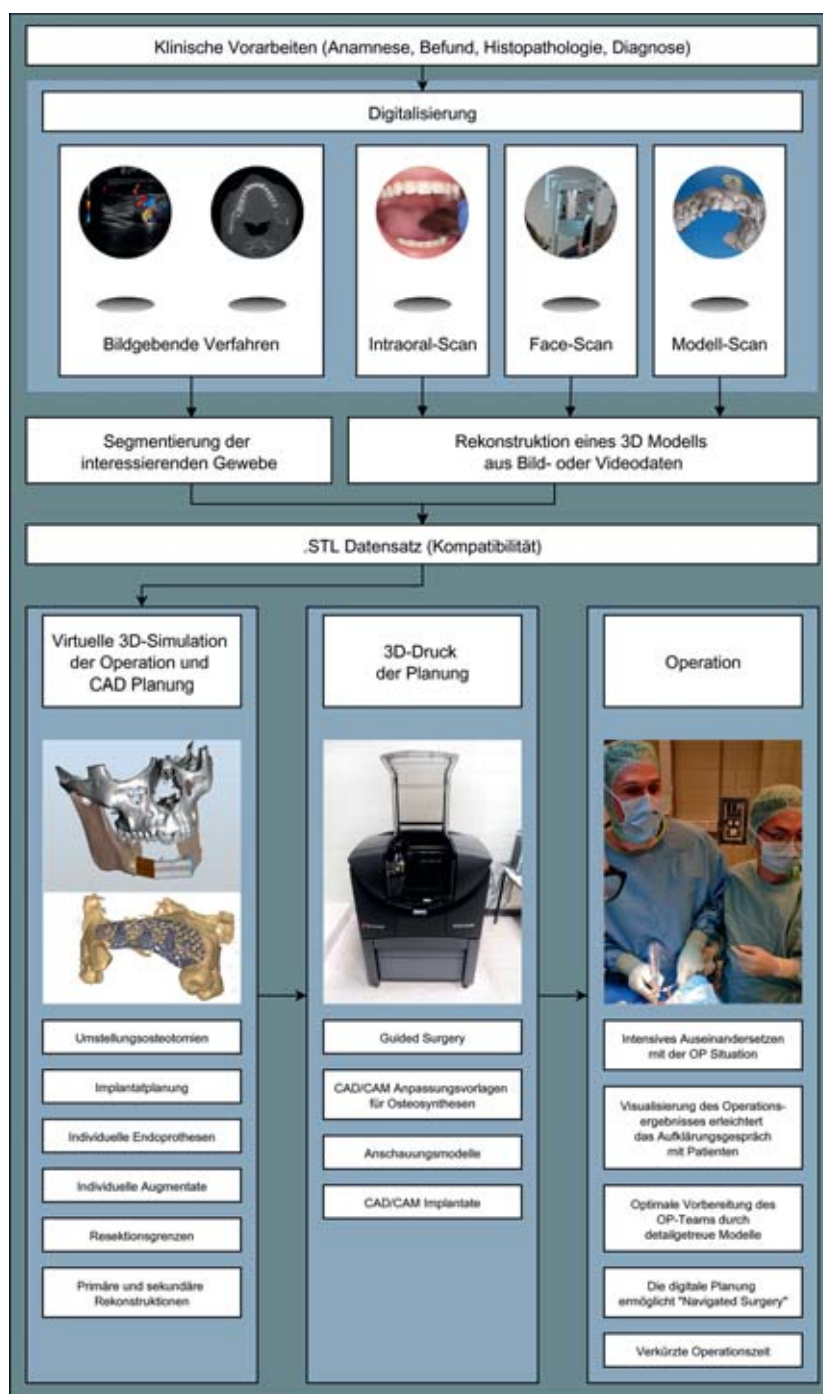


Abb. 1: Flussdiagramm mit Darstellung unterschiedlicher Einsatzgebiete digital-virtueller Technologie in der modernen Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie sowie Zahnmedizin

UMSETZUNG DER VIRTUELLEN CHIRURGISCHEN PLANUNG AM PATIENTEN

Betrachtet man den Workflow virtueller chirurgischer Planungen, drängt sich eine wesentliche Schnittstelle auf, nämlich die Umsetzung der virtuellen Planung in dem realen Operationssaal. Für diesen Transfer bedarf es passender Technologien wie beispielsweise solcher, die die wesentlichen Planungsaspekte in Form von Implantat-Bohrschablonen, Okklusionssplint-

ten bei der Dysgnathiechirurgie oder auch Resektions- und Schnittschablonen für komplexe Rekonstruktionseingriffe in sich verschlüsseln. Während diese – die Durchführung von Operationsschritten vereinfachenden oder vorhersagbar machenden Instrumente – in der Regel nicht für den dauerhaften Verbleib im Körper vorgesehen sind, ist der Verbleib patientenspezifischer Implantate, die das Ergebnis einer Operation in Position und Stellung vorgeben, meistens dauerhaft inten-



Abb.2: Virtuelle Cephalometrie am Beispiel einer Unterkieferverlagerung

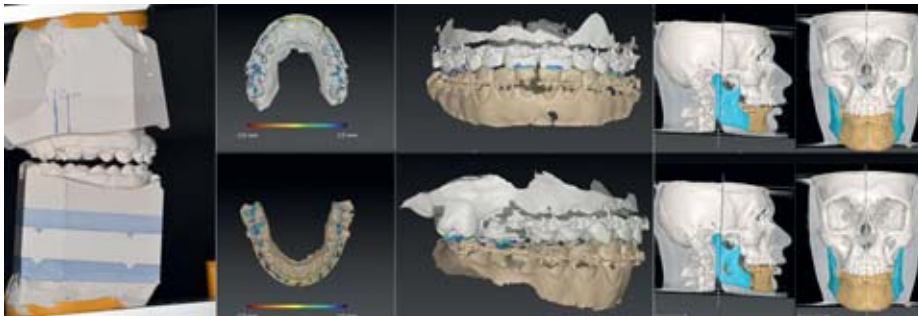


Abb. 3: Konventionelle Modellosteotomie bei mandibulärer Umstellung (links) sowie digitaler Workflow mit intraoralscan, virtueller Zielokklusionseinstellung (Mitte) und virtueller Umstellungsosteotomieplanung (rechts)



Abb. 4: Facescan in unterschiedlicher Darstellung

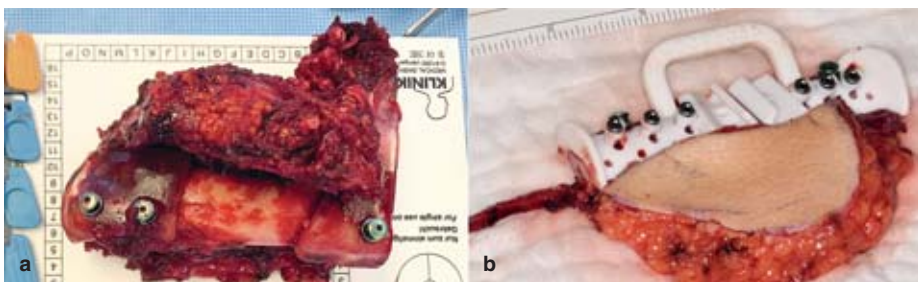


Abb. 5a/b: Unterkiefertumorresektat mit angebrachten cutting guides (a) sowie gehobenes mikrovasculäres Fibula-Transplantat mit angebrachtem cutting guide (b)

diert. In beiden Fällen bietet sich die Umsetzung der Planung in ein Objekt der realen Welt durch den 3D-Druck an.

EINSATZGEBIETE DER VIRTUELLEN CHIRURGISCHEN PLANUNG

Obwohl der Einsatz virtueller Planungen keine exklusive Domäne der modernen Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie oder der Zahnmedizin ist, sind die Einsatzmöglichkeiten in diesen Fachgebieten aufgrund der komplexen dreidimensionalen Anatomie der Kopf-Hals-Region mannigfaltig.

Beispiel Dysgnathiechirurgie

Die orthognathe Chirurgie ist ein integrierter Bereich der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und der Kieferorthopädie, der darauf abzielt, dentofaziale Deformitäten kombiniert kieferorthopädisch und chirurgisch zu behandeln. Obligater Bestandteil einer jeden Behandlung war und ist die präoperative Planung mit Festlegung der Verlagerungstrecken und der Zielokklusion. Noch in der nahen Vergangenheit erfolgte diese Planung anhand von patienteneigenen Gipsmodellen und Fernröntgenseitenaufnahmen (FRS) und erforderte die vorherige Abdrucknahme, die Cephalometrie, die zeitaufwendige und recht fehleranfällige „Modell-OP“ sowie die anschließende Herstellung der Okklusionssplinte durch die Zahntechnik. Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung wurde diese analoge Methode schrittweise durch virtuelle Techniken bis hin zum volldigitalen „Workflow“ ersetzt. Was früher Fernröntgenseitenbild (FRS) und Orthopantomographie waren, ist heute die digitale Volumentomographie mit daraus rekonstruierten 3D-Modellen und Seitenaufnahmen zur Cephalometrie (Abb. 2). Alginatabformungen, Gipsmodelle und Modell-OPs wurden ersetzt durch den Intraoralscan, virtuelle Okklusionseinstellungen und Osteotomien (Abb. 3).

Die entsprechende Erstellung der Okklusionssplinte (intermediär und final) erfolgt dann automatisiert und über den 3D-Druck. Um den digitalen Workflow zu komplettieren, kann in die Planung noch der Oberflächenscan des Patienten integriert werden, was dem tatsächlichen postoperativen Ergebnis sehr nahe kommt (Abb. 4).

Wurde der Einzug der virtuellen Planung anfangs von Kritikern als überflüssiger und kostspieliger „Hype“ titulierte, so untermauern aktuelle Studien die Vorteile der modernen Technik deutlich. Denn entgegen der subjektiven Einschätzung höherer Kosten differieren diese im Vergleich zwischen konventioneller und digitaler Planung nur marginal. Nicht marginal, sondern vielmehr hochsignifikant, unterscheiden sich die beiden Planungsmethoden jedoch hinsichtlich der Planungszeit, die bei der digitalen Planung einer bimaxillären Umstellungsosteotomie (Le-Fort I Osteotomie + bilaterale sagittale Split-Osteotomie) mit 143 Minuten über die Hälfte kürzer ausfiel als bei der konventionellen Methode mit 385 Minuten (195 min vs. 114 min bei bilateraler sagittaler Split-Osteotomie) [12].

Auch die zentrale Frage nach der Genauigkeit virtueller Planungen konnte in einer aktuellen Übersichtsarbeit zugunsten der digitalen Methodik beantwortet werden. Wobei der Vergleich zwischen präoperativer virtueller Planung und postoperativer Bildgebung ohne signifikante Differenz der untersuchten Parameter zu einer angenommenen Referenz von 2 mm und 2° ausfiel [1]. Im Vergleich zur konventionellen Planung ergab sich für die computergestützte Planung eine höhere Genauigkeit [1, 16].

Neben dem Einsatz von Okklusionssplinten, in die die Informationen der virtuellen Planung integriert sind, ist der Einsatz patientenspezifischer Implantate (Osteosyntheseplatten) bei der Dysgnathischirurgie ein regelmäßig diskutiertes Thema [17]. Befürworter postulieren besonders bei der Oberkieferumstellung validere Ergebnisse, da die Verlagerung anhand des mobilen Unterkiefers ausbleibt. Klarer Nachteil der beschriebenen Methodik sind jedoch signifikant höhere Kosten für die Planung und Herstellung der patientenspezifischen Implantate. Eine abschließende Bewertung der Implantatsysteme kann jedoch aufgrund der unzureichenden Evidenz bislang nicht durchgeführt werden [5].

Beispiel onkologisch-rekonstruktive Chirurgie

Die virtuelle Planung wird bereits seit mehreren Jahren bei der Behandlung von Kie-

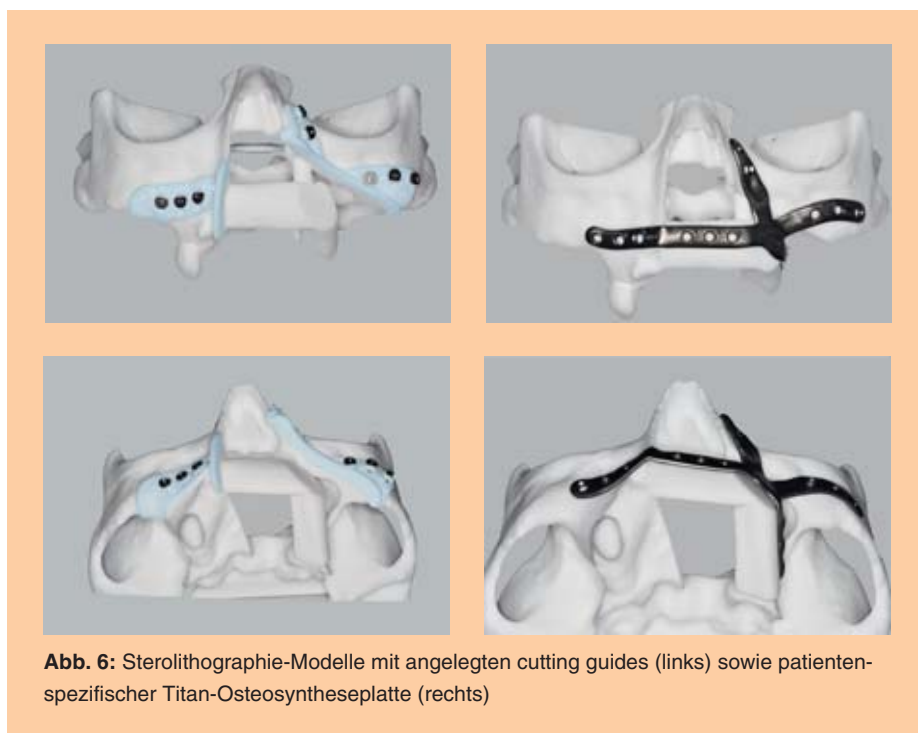


Abb. 6: Sterolithographie-Modelle mit angelegten cutting guides (links) sowie patientenspezifischer Titan-Osteosyntheseplatte (rechts)

fer- und Gesichtspathologien in Form von Resektionsschablonen, sog. cutting guides, für die ossäre Malignomresektion (Abb. 5a), die ossäre Transplantatlager Vorbereitung oder Transplantatkonfiguration/-hebung (Abb. 5b) eingesetzt [3, 7]. Die Anwendung geführter Osteotomien ist am vorteilhaftesten bei chirurgischen Resektionen im Bereich des Mittelgesichts sowie des Unterkiefers und bei großen Tumoren, die anatomische Orientierungspunkte bereits verdrängt oder gänzlich zerstört haben. Obwohl die computergestützte Chirurgie die Vorhersagbarkeit und die Qualität knöchern-rekonstruktiver Eingriffe deutlich verbessern kann, stellt die Art der osteosynthetischen Fixierung einen entscheidenden Bestandteil einer präzisen Rekonstruktion dar [29].

Beim konventionellen Vorgehen werden die Knochensegmente mit handelsüblichen Titanplatten fixiert, die manuell gebogen und gedreht werden müssen, um sich der Knochenanatomie anzupassen. Der manuelle Konturierungsprozess ist oft mühsam und technisch anspruchsvoll und kann die genaue Position der Knochensegmente beeinträchtigen. Schlimmer noch, das wiederholte Biegen führt zur Materialermüdung mit einem erhöhten Risiko eines Materialversagens (Materialbruch) der Osteosyntheseplatten [20].

Die Nachteile konventioneller chirurgischer Platten verdeutlichen die Vorteile patientenspezifischer Osteosyntheseplatten. Im Vergleich zu konventionellen Platten werden patientenspezifische Osteosyntheseplatten entsprechend der individuellen Knochenkontur in einer dreidimensionalen (3D) Struktur konstruiert und hergestellt. Neben subtraktiven Verfahren wie Computerized Numerical Control (CNC)-Fräsen mit Limitationen bei komplex gebogenen Geometrien, haben sich in den letzten Jahren die 3D-Druckverfahren Elektronenstrahlschmelzen (EMB) und Selektives Laser Schmelzen (SLM) durchgesetzt. Die SLM-Technologie ist eine Hightech-3D-Metalldrucktechnik, die den Hochleistungslaserstrahl nutzt, um feine Titanpulver zu einem Ganzen mit optimalen mechanischen Eigenschaften zu verschmelzen [15, 24]. Das Ergebnis ist eine der patientenspezifischen Anatomie angepasste Osteosyntheseplatte zur Fixierung der knöchernen Transplantate (Abb. 6).

Vor mehr als 20 Jahren wurde die Navigation im Bereich der Kopf- und Halschirurgie eingeführt. Einst für den neurochirurgischen Einsatz entwickelt, hat es mit der wachsenden Zahl von Indikationen auch in der Mund-, Kiefer- und Kieferchirurgie Anerkennung und Akzeptanz ge-



Abb. 7: Hier zu sehen ist die Planung eingeblendeter Trajektorien und registrierter Bohrer (links), der Position der Operateure mit Blick auf den Bildschirm der Navigationseinheit (Mitte) sowie die Darstellung des OP-Situs mit angesetztem Implantatbettbohrer mit angebrachter Registriereinheit.

funden [19]. Diese Technologie, die auch als bildgeführte Chirurgie/Image Guided Surgery (IGS) bezeichnet wird, ermöglicht eine genaue Verfolgung des Zeigers oder des chirurgischen Instruments innerhalb eines 3D-Operationsfeldes in Echtzeit.

Neben mehrheitlicher Anwendung in der Kiefergelenkchirurgie, der geführten Biopsie sowie der alloplastischen Orbitabodenrekonstruktion, wurde die Anwendung der intraoperativen Navigation im Bereich des Unterkiefers aufgrund seiner Mobilität und der dadurch bislang ungenauen Registrierbarkeit selten beschrieben [4, 6]. Innovative Ansätze konnten in diesem Zusammenhang bereits den erfolgreichen präklinischen Einsatz der intraoperativen Navigation zur geführten Unterkiefer- sowie der anschließenden Fibulaosteotomie/Segmentierung in passender Konfiguration nachweisen [8, 14].

Beispiel Zygomaimplantate

Die Jochbein-Implantatpositionierung ist ein Ansatz, der aufwendige Alveolar-kamm- oder Sinusaugmentationen mittels autologen Knochentransplantaten und folglich Entnahmemorbiditäten vermeidet, die Gesamtbehandlungsdauer verkürzt, und somit die postoperative Gesamtmorbidität verbessert [18]. Das Jochbein ist ein bilateraler, pyramidenförmiger Kno-

chen, der durch eine kortikale und trabekuläre Komponente gekennzeichnet ist. Tomografische Studien zeigen, dass keine signifikanten morphologischen und volumetrischen Veränderungen dieser Region mit Zahnverlust und Kieferatrophien verbunden sind, während der Jochbeinknochen eine ausreichende Knochendichte aufweist und ein Kandidat für die Positionierung von Implantaten ist [23].

Obwohl die Geschichte der Zygomaimplantate bereits einige Jahre zurückreicht, erleben sie heute im Zuge stetig verbesserter Materialeigenschaften ein Revival [9]. Aufgrund der unregelmäßigen Form des Jochbeins und der eingeschränkten intraoperativen Sicht besteht jedoch bei der Platzierung von Zygomaimplantaten zweifellos das Risiko, die Orbita und/oder die Fossa infratemporalis zu penetrieren und darin enthaltene, wichtige Strukturen zu verletzen. Nicht zuletzt die Wahl des jeweiligen Vorgehens (intrasinusal, Sinus-slot-Technik oder extrasinusal), stellt hohe Ansprüche an die Fähigkeiten des Behandlers/der Behandlerin, was nicht selten durch die Sicht-verbessernde Darstellung der gesamten Region mit umfangreicher Denudierung gelöst wird. Um eine präzise Implantatinsertion und eine minimalinvasive Operation zu erreichen, wurden ein computergestütztes chirurgisches

Navigationssystem und ein endoskopisch-assistierter Zugang vorgeschlagen [28]. In den letzten zwei Jahrzehnten wurden solche Technologien zunehmend eingesetzt, um die optimalen Trajektorien für das Setzen der Implantate bei Patienten mit hochgradig atrophierten oder Defekt-Oberkiefern zu ermitteln. Und alle haben vielversprechende Ergebnisse in Form einer Reduzierung der intra- und postoperativen Komplikationen gezeigt [25, 27]. Anders als bei dentalen Standardimplantaten ist die Lernkurve bei der Verwendung von Zygomaimplantaten nicht zuletzt aufgrund der langen Bohreranätze und der komplexen Anatomie deutlich flacher. Eine zusätzliche Schwierigkeit liegt trotz der Möglichkeiten der dynamisch-intraoperativen Navigation in der Parallelität von Navigationsbild und Patientensitus (Abb. 7). Moderne Entwicklungen mit Ansätzen zur Integration von Augmented (AR) und/oder Mixed Reality (MR)-Techniken zeigen hier vielversprechende Ergebnisse [13].

Beispiel dentale Implantologie

Die Insertion dentaler Implantate kann freihand, schablonengeführt (fully- oder half-guided) oder echtzeit-navigiert durchgeführt werden. In jedem Fall kann nach Anfertigung einer präoperativen Bildgebung die Implantatposition virtuell geplant wer-

den, wobei dreidimensionale Bildgebungsverfahren wertvolle Informationen zur Verfügung stellen. Schablonengeführte, auch als „statisch navigierte“ bezeichnete, Implantationen erfordern eine Abformung des Kiefers, die mittels Abformmaterial sowie Gipsmodell und anschließendem Scan des letztgenannten oder digital unter Zuhilfenahme eines Intraoralscanners erfolgen kann. In einem der auf dem Markt verfügbaren Planungsprogramme werden Bildgebungsdatensatz sowie Abformung „gematched“. Die Abformung wird also mit den Zähnen beispielsweise einer digitalen Volumentomographie in Deckung gebracht. Nach virtueller Positionierung des Implantats erfolgt die digitale Erstellung der Führungsschablone sowie deren 3D-Druck.

Eine Schablone kann entweder nur zur Aufbereitung des Implantatbetts (half-guided) oder auch weiter bis zu Insertion des Implants (fully-guided) verwendet werden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Abweichungen bei der fully-guided Insertion geringer sind [2].

Neben der statisch navigierten Implantation ist auch eine *dynamische Navigation* möglich. Hierbei wird die Position der Bohrer- oder Implantatspitze während der Implantation in Echtzeit auf einem Monitor angezeigt. Dazu ist ebenfalls eine dreidimensionale Bildgebung sowie bei den meisten kommerziell erhältlichen Navigationssystemen eine Abformung notwendig. Die Genauigkeit bezogen auf die geplante Implantatposition bei Verwendung der dynamischen Navigation ist im Vergleich mit der statischen Navigation, jedoch bietet die dynamische Navigation intraoperativ eine höhere Flexibilität sowie zusätzliche Kontrollmöglichkeiten durch die Darstellung der aktuellen Position des Instruments im Knochen [26].

3D-Druck als Schlüsseltechnologie der statischen Navigation

Die Verwendung von individuellen Bohr- oder Führungsschablonen, Splinten und Schnitsschablonen wird unter dem Begriff der statischen Navigation zusammengefasst. Die Hilfsinstrumente ermöglichen also eine gezielte, gesteuerte und individualisierte Therapie.

Neben kommerziellen Angeboten großer Medizinproduktehersteller können Schablonen ebenfalls in Dentallaboren

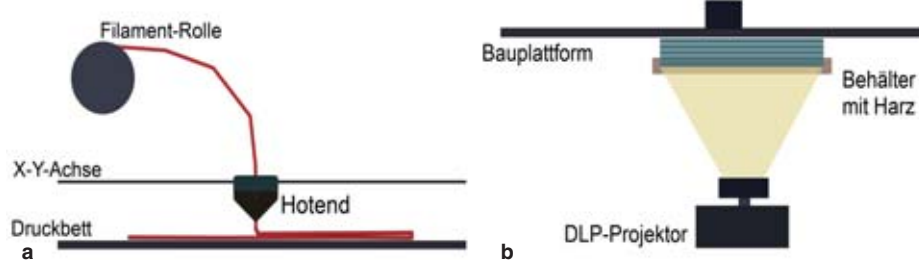


Abb. 8a/b: Schematische Darstellung des fused filament fabrication (a) genannten Druckverfahrens: Das auf der Filament-Rolle gelagerte Material wird durch einen meist nahe des Hotends angebrachte Schrittmotors in das Hotend gedrückt. Die Geschwindigkeit des Motors und die Temperatur des Hotends, hier wird das Filament geschmolzen, haben einen großen Einfluss auf die Qualität des Drucks.

(b): Schematische Darstellung des digital light processings: Hier wird das Harz in einem Behälter Schichtweise gehärtet. Dabei taucht die Bauplattform immer weiter aus dem Behälter auf, während mittels eines DLP-Projektors die zuvor berechnete Schicht auf das Harz projiziert wird.

oder in-house, also in Eigenregie, hergestellt werden. Zur Anwendung kommen hier im Wesentlichen drei Druckverfahren, selective laser sintering (kurz: SLS), material jetting (kurz: MJ) oder stereolithography (kurz: SLA), wobei im Hinblick auf ökonomische Aspekte auch andere Drucktechnologien wie fused filament fabrication (kurz: FFF) (Abb. 8a) und digital light processing (kurz: DLP) (Abb. 8b) mehr und mehr in den Fokus rücken. Die beiden zuletzt genannten bieten sich entsprechend auch für Dentallabore und ambitionierte Ärzte und Zahnärzte im Eigenbetrieb an.

Bei dem fused filament fabrication (FFF), das, namensrechtlich geschützt, auch fused deposition modeling (FDM) oder fused layer modeling (FLM) genannt wird, wird ein dreidimensionales Objekt Schicht für Schicht im Schmelzverfahren aufgebaut. Dazu wird das gewünschte Material, das in Filamentform meist auf

Rollen zur Verfügung steht, zunächst geschmolzen und dann fadenförmig innerhalb jeder Schicht aufgetragen.

Für das digital light processing (DLP) wird unter Zuhilfenahme eines Projektors schichtweise flüssiges Harz polymerisiert. Diese Technik erlaubt eine kürzere Bauzeit und eine feinere Schichtauflösung, jedoch sind die verwendeten Harze unverarbeitet meist gesundheitsschädlich und in der Anschaffung teurer.

Virtual Surgical Planning 2.0 – Dynamische Navigation

Denkt man das Konzept der Digitalisierung vollständig, so ist die Konsequenz, dass eine virtuelle Planung direkt und ohne Zuhilfenahme von Schablonen als Ergänzung des chirurgischen Instrumentariums im Operationssaal umgesetzt wird. Dieses als *dynamische Navigation* bezeichnete Vorgehen findet bereits über

FAZIT FÜR DEN PRAKTIKER

- Digitale Workflows können die Eingriffszeit verkürzen.
- Mithilfe digitaler Planungen können Eingriffe für Patienten verständlich erläutert werden.
- Patienten-spezifische (individualisierte) Implantate sind beispielhaft für die Integration hochmoderner digitaler Konzepte in den Behandlungsablauf von Patienten.
- Durch virtuelle Behandlungsplanungen und die intraoperative Navigation kann die Patientensicherheit erhöht werden.



Foto: privat

→ **DR. DR. DANIEL G.E. THIEM**
 Arzt und Zahnarzt; Klinik und Poliklinik für
 Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie,
 Universitätsmedizin Mainz
daniel.thiem@uni-mainz.de



Foto: privat

→ **DR. MATTHIAS GIELISCH**
 Arzt und Zahnarzt; Klinik und Poliklinik für
 Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie,
 Universitätsmedizin Mainz
matthias.gielisch@unimedizin-mainz.de



Foto: privat

→ **PROF. DR. DR. PEER W. KÄMMERER**
 Leitender Oberarzt und stellv. Klinikdirektor;
 Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und
 Gesichtschirurgie – Plastische Operationen –
 der Universitätsmedizin Mainz
peer.kaemmerer@unimedizin-mainz.de

verschiedene Fachdisziplinen hinweg Anwendung und erfreut sich besonders in komplexen Anwendungen immer größerer Beliebtheit.

Interessenkonflikte: Alle drei Autoren geben an, dass im Zusammenhang mit diesem Beitrag keine Interessenkonflikte bestehen. ■

Literatur

1 _ Alkhayer A, Piffkó J, Lippold C et al.: Accuracy of virtual planning in orthognathic surgery: a systematic review. *Head & Face Medicine* 2020; <https://head-face-med.bio-medcentral.com/arti-cles/10.1186/s13005-020-00250-2> (letzter Zugriff am 02.07.2021)

2 _ Bover-Ramos F, Vina-Almunia J, Cervera-Ballester J et al.: Accuracy of implant placement with computer-guided surgery: A systematic review and meta-analysis comparing cadaver, clinical, and in vitro studies. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2018; 33: 101–115

3 _ Chim H, Wetjen N, Mardini S: Virtual surgical planning in craniofacial surgery. *Semin Plast Surg* 2014; 28: 150–158

4 _ Feichtinger M, Pau M, Zemann W et al.: Intraoperative control of resection margins in advanced head and neck cancer using a 3D-navigation system based on PET/CT image fusion. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 2010; 38: 589–594

5 _ Figueiredo CE, Paranhos LR, da Silva RP et al: Accuracy of orthognathic surgery with customized titanium plates – systematic review. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery* 2021; 122: 88–97

6 _ Gui H, Yang H, Shen SGF et al: Image-guided surgical navigation for removal of foreign bodies in the deep maxillofacial region. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 2013; 71: 1563–1571

7 _ Kim NK, Kim HY, Kim HJ et al: Considerations and protocols in virtual surgical planning of reconstructive surgery for more accurate and esthetic neomandible with deep circumflex iliac artery free flap. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 2014; 36: 161–167

8 _ Li P, Xuan M, Liao C et al.: Application of intraoperative navigation for the reconstruction of mandibular defects with microvascular fibular flaps-preliminary clinical experiences. *Journal of Craniofacial Surgery* 2016; 27: 751–755

9 _ Migliorança RM, Irschlinger AL, Peñarocha-Diago M et al.: History of zygomatic implants: A systematic review and meta-analysis. *Dent Oral and Craniofac Res* 2019; file:///C:/Users/MP-BEN-1/AppData/Local/Temp/History_of_zygomatic_implants_A_systematic_review_.pdf (letzter Zugriff am 02.07.2021)

10 _ Moe J, Foss J, Herster R et al.: An in-house computer-aided design and computer-aided manufacturing workflow for maxillofacial free flap reconstruction is associated with a low cost and high accuracy. *J Oral Maxillofac Surg* 2021; 79: 227–236

11 _ Numajiri T, Morita D, Yamochi R et al.: Does an in-house computer-Aided design/computer-aided manufacturing approach contribute to accuracy and Time Shortening in Mandibular Reconstruction? *J Craniofac Surg* 2020; 31:1 928–1932

12 _ Park S-Y, Hwang D-S, Song J-M et al.: Comparison of time and cost between conventional surgical planning and virtual surgical planning in orthognathic surgery in Korea. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery* 2019; <https://jkamprs.springeropen.com/articles/10.1186/s40902-019-0220-6> (letzter Zugriff am 02.07.2021)

13 _ Pellegrino G, Mangano C, Mangano R et al.: Augmented reality for dental implantology: a pilot clinical report of two cases. *BMC Oral Health* 2019; <https://bmcoralhealth.biomedcentral.com/arti-cles/10.1186/s12903-019-0853-y> (letzter Zugriff am 02.07.2021)

14 _ Pietruski P, Majak M, Wiatek-Najwer E et al.: Navigation-guided fibula free flap for mandibular reconstruction: A proof of concept study. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery* 2019; 72: 572–580

15 _ Rana M, Singh B, Gellrich N-C: Einsatz von im Laserschmelzverfahren hergestellten patientenspezifischen Implantaten in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. *Op-Journal* 2017; 32: 241–246

16 _ Ritto FG, Schmitt ARM, Pimentel T et al.: Comparison of the accuracy of maxillary position between conventional model surgery and virtual surgical planning. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 2018; 47:160–166

17 _ Rückschloß T, Ristow O, Müller M et al.: Accuracy of patient-specific implants and additive-manufactured surgical splints in orthognathic surgery — A three-dimensional retrospective study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 2019; 47: 847–853

18 _ Scarano A, Conte R, Murmura G et al.: Satisfaction grade assessment of patients treated with zygomatic implants with self-tapping apex and machined body. *J Biol Regul Homeost Agents* 2019; 33: 1651–1656

19 _ Schmelzeisen R, Gellrich NC, Schramm A et al.: Navigation-guided resection of temporomandibular joint ankylosis promotes safety in skull base surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2002; 60: 1275–1283

20 _ Takizawa T, Nakayama N, Haniu H et al.: Titanium Fiber Plates for Bone Tissue Repair. *Advanced Materials* 2018; 30: 1703608

21 _ Tarsitano A, Battaglia S, Crimi S et al.: Is a computer-assisted design and computer-assisted manufacturing method for mandibular reconstruction economically viable? *J Craniomaxillofac Surg* 2016; 44: 795–799

22 _ Toto JM, Chang EI, Agag R et al.: Improved operative efficiency of free fibula flap mandible reconstruction with patient-specific, computer-guided preoperative planning. *Head Neck* 2015; 37: 1660–1664

23 _ Uchida Y, Goto M, Katsuki T et al.: Measurement of the maxilla and zygoma as an aid in installing zygomatic implants. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 2001; 59: 1193–1198

24 _ Vandenbroucke B, Kruth JP: Selective laser melting of biocompatible metals for rapid manufacturing of medical parts. *Rapid Prototyping Journal* 2007;13:196–203

25 _ Watzinger F, Birkfellner W, Wanschitz F et al.: Placement of endosteal implants in the zygoma after maxillectomy: a Cadaver study using surgical navigation. *Plast Reconstr Surg* 2001; 107: 659–667

26 _ Wu D, Zhou L, Yang J et al.: Accuracy of dynamic navigation compared to static surgical guide for dental implant placement. *Int J Implant Dent* 2020; 6: 78

27 _ Wu Y, Wang F, Huang W et al.: Real-time navigation in zygomatic implant placement: workflow. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2019; 31: 357–367

28 _ Xiaojun C, Ming Y, Yanping L et al.: Image guided oral implantology and its application in the placement of zygoma implants. *Comput Methods Programs Biomed* 2009; 93: 162–173

29 _ Yang WF, Choi WS, Leung YY et al.: Three-dimensional printing of patient-specific surgical plates in head and neck reconstruction: A prospective pilot study. *Oral Oncology* 2018; 78: 31–36