

Interaktive Planung von Gesichtsimplantaten

Jan Egger^{1,2}, Markus Gall¹, Jürgen Wallner³, Knut Reinbacher³
Katja Schwenzer-Zimmerer³, Dieter Schmalstieg¹

¹Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen, TU Graz

²BioTechMed, Graz

³Klinische Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Meduni Graz

egger@icg.tugraz.at

Kurzfassung. In diesem Beitrag wird eine neue Methode zur computerunterstützten Behandlungsplanung von knöchernen Gesichtsschädelbrüchen unter der Verwendung von Miniplatten vorgestellt. Diese Art von Implantaten wird verwendet, um Knochenbrüche im Gesicht zu behandeln. Nach dem derzeitigen Stand der Technik verwendete Methoden wie die Plattenadaption an stereolithischen Modellen oder auf Basis einer computerunterstützten Planung weisen allerdings eine geringere Flexibilität, Mehrkosten oder hygienische Risiken auf. Mit der hier vorgestellten Software ist es den Chirurgen möglich, das Resultat vorab in nur wenigen Minuten an einem computervisualisierten Modell zu planen und anschließend als STL-Datenformat zu exportieren, um es so in der zukunftsträchtigen 3D-Drucktechnologie verwenden zu können. Dadurch werden Chirurgen in die Lage gesetzt, das generierte Implantat oder eine entsprechende Biegevorlage flexibel für jeden visualisierten Defekt im Behandlungszentrum präzise innerhalb weniger Stunden zu erstellen.

1 Einleitung

Die Rekonstruktion von Deformationen im Gesichtsbereich auf Grund knöcherner Frakturen ist Teil der täglichen Routine eines Chirurgen im Bereich der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Die Frakturen können als Folge von Unfällen im Sport, Straßenverkehr, auf Grund von Rohheitsdelikten oder im Rahmen von pathologischen Prozessen wie Tumoren oder Knochenzysten auftreten [1]. Bei vielen Rekonstruktionen von Knochendefekten kommen so genannte Miniplatten zur Anwendung. Mit dem Ziel, das betroffene (defekte) Gebiet zu stabilisieren, werden die Miniplatten über der Fraktur an der Knochenoberfläche beider Fragmente platziert und mit Schrauben befestigt. Da allerdings die Implantate in ihrer Ausgangsform gerade sind, müssen sie an die Knochenstruktur entsprechend angepasst werden. Dies geschieht intraoperativ durch passive Adaption unmittelbar vor der Plattenfixierung. In der klinischen Routine kann dieser Vorgang ein erhebliches Maß an Operationszeit in Anspruch nehmen und auch zusätzlich ein hygienisches Problem darstellen. Im Allgemeinen verlangt die Plattenadaption eine mehrmalige Anpassung und Korrektur, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen. Dabei wird das Implantat immer wieder an die

knöcherne Struktur angelegt und muss bei ungenügender Passung wieder erneut adaptiert und nachgebogen werden. Eine andere Methode, die vor allem bei der Planung komplexer Frakturen eingesetzt wird, verwendet stereolithographische Modelle. Diese 3D-Modelle werden anhand von computertomographischen (CT) Bildern generiert, um daran die verwendeten Implantate präoperativ zu adaptieren [2]. Im Gegensatz zur intraoperativen Plattenadaption verschiebt sich damit der Zeitaufwand in die präoperative Planungsphase. Neben den katalogisierten Implantaten gibt es computerunterstützte Planungssoftware, die es ermöglicht, patientenspezifische Implantate zu generieren [3]. Die meisten dieser Produkte legen ihren Fokus allerdings auf die Repositionierung von Knochenfragmenten – im Gegensatz zur Generierung von konventionell erhältlichen Implantaten [4]. Obwohl diese Softwaretools professionelle und umfassende Pakete zur präoperativen Planung von Gesichtsdefekten bereitstellen, bieten sie in der klinischen Routine lediglich limitierte Optionen für die praktische Anwendung. Zusätzlich sind kommerzielle Softwareprogramme (z.B. von Materialise) mit komplexen Arbeitsabläufen verbunden, die keine Möglichkeit zur individuellen Anpassung der Software oder Erweiterungen im Rahmen von Forschungsvorhaben bieten. Außerdem sind die käuflich zu erwerbenden Programme lizenziert, ihre Beschaffung und Wartung sind mit hohem finanziellen Aufwand verbunden. Im Gegensatz dazu präsentiert unser Beitrag eine neue, einfache und adaptierbare Methode zur computerunterstützten Planung für die Behandlung von Gesichtsdefekten unter MeVisLab [5].

2 Material und Methoden

Für diese Studie wurden Standard (512x512)-Computertomographiedaten mit einer maximalen Schichtdicke von einem Millimeter verwendet. Diese wurden im Rahmen der klinischen Routine zur Diagnosesicherung und Behandlungsplanung bei Gesichtsschädelbrüchen in der Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Medizinischen Universität Graz erstellt. Als Implementierungsgrundlage wurde die Prototyping Plattform MeVisLab eingesetzt, die ein Interface für den Aufbau einfacher und fortgeschrittener Anwendungen und Algorithmen mit Hilfe eines modularen Systems bietet. Um einem Benutzer unserer Anwendung eine einfache und klar verständliche Oberfläche zur Verfügung zu stellen, wurde mit Hilfe der Mevis Description Language und dem fachlichen Input unserer klinischen Partner aus mehreren Meetings ein übersichtliches Userinterface implementiert und realisiert. **Abb. 1** zeigt in einem Ablaufdiagramm die implementierten Algorithmen, wie sie bei der Planung der Gesichtsrekonstruktion angewendet werden. Zuerst muss der Datensatz des Patienten in das Programm geladen werden, um dann einen initialen Marker mittels linkem Mausklick zu setzen. Dieser Marker definiert das Zentrum des Implantats und wird außerdem zur Berechnung der sogenannten Basislinie verwendet. Die Basislinie dient als simplifiziertes, aber dennoch genaues und klar erkennbares Modell des gewünschten Implantats. Außerdem werden durch die Basislinie die langen Rechenzeiten, die durch die Konstruktion des vollständigen geometri-

schen Implantats entstehen, eingespart. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine interaktive Echtzeitpositionierung eines abstrakten Implantats (Basislinie) auf der Patientenoberfläche. Abhängig vom initialen Marker, der durch das Mausrad vorgegebenen Richtung und dem gewählten Implantatmodell wird die Basislinie automatisch berechnet, positioniert und visualisiert. Dabei basiert die Erstellung der Linie auf der Berechnung des Strahl/Dreieck-Schnittpunktes, vorgestellt durch Möller und Trambone [6, 7]. Zusammengefasst wird eine Kaskade von Strahlen, abhängig vom Oberflächennormalvektor des Dreiecks des initialen Punktes, ausgesendet und auf Schnitte mit Oberflächendreiecken geprüft. Die Oberflächenschnittpunkte werden anschließend linear miteinander verbunden und ergeben die Basislinie. Hat sich die Basislinie an gewünschter Position

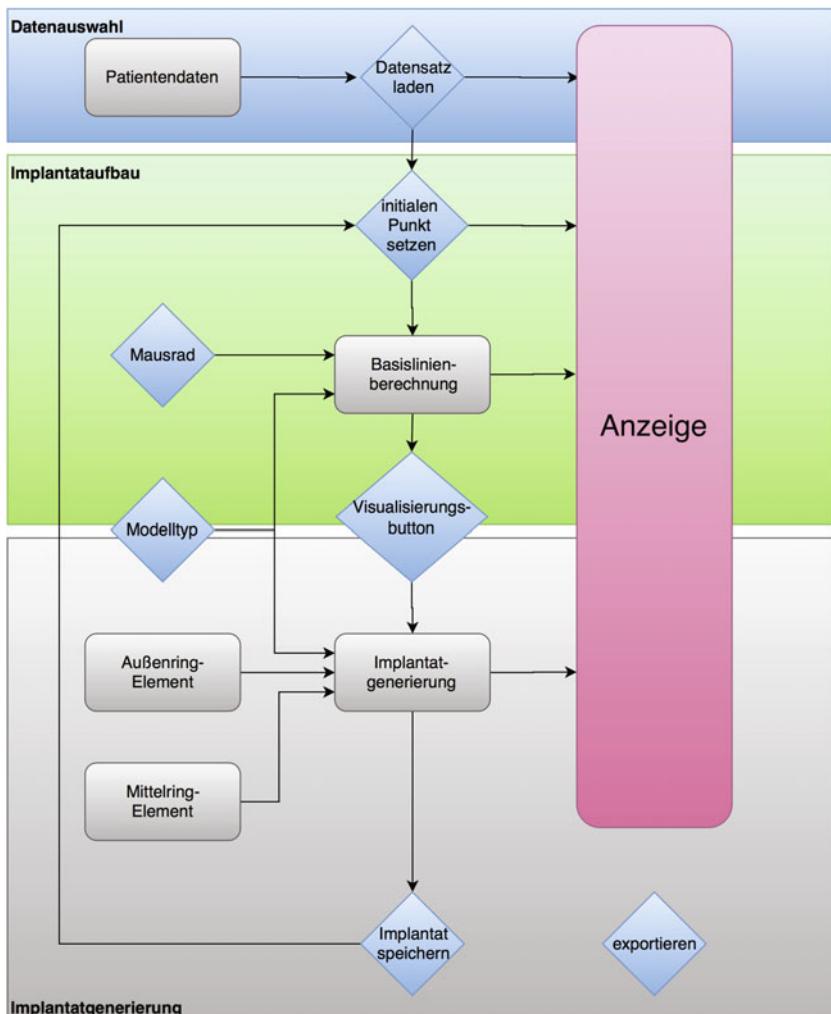


Abb. 1. Ablaufdiagramm der Planungssoftware.

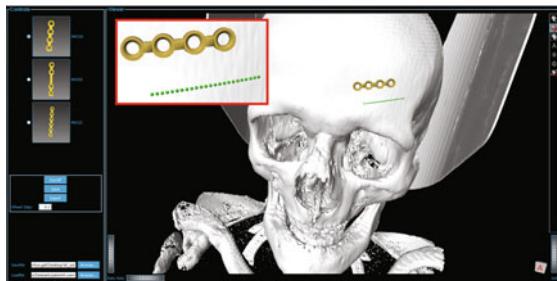


Abb. 2. Die Benutzeroberfläche besteht aus einem Kontrollfenster und einem Visualisierungsfenster. Visualisiert ist ein Datensatz (weiß) mit einer Basislinie (grüne Punkte) und einem schon geplanten Implantat an einer anderen Position (Gold).

an die Oberfläche des Datensatzes angelegt, wird das fertige Modell durch Betätigen des Visualisierungsbuttons generiert. Zuerst werden vorgefertigte Ringteile auf die gewünschte Position registriert, um in einem weiteren Schritt die Stege zwischen den Ringen durch Verwendung der Delaunay-Triangulation zu erstellen. Das erstellte Implantat kann für die aktuelle Sitzung gespeichert werden, um weitere Miniplatten, z.B. bei multiplen Frakturen, zu planen. Abschließend können alle generierten Implantate durch Betätigen des Export-Buttons lokal auf dem Rechner gespeichert werden. Dieses Format erlaubt u.a. das Generieren eines physischen Modells mittels 3D-Drucktechnologie. Die Software wurde mit Hilfe von Endanwendern verschiedener Expertisen getestet und evaluiert. Darunter befanden sich Versuchspersonen aus dem Bereich der Softwareentwicklung und Chirurgen einer Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, die regelmäßig Patienten mit Brüchen des Gesichtsschädels behandeln. Um die Tests durchzuführen, wurde ein Testfall zusammengestellt, bei dem es galt, eine mediale mandibulare Fraktur mittels zweier verschiedener Modelle an Miniplatten zu versorgen. Einen Fragebogen, welcher aus der ISO NORM 9241/10 zur Software-Ergonomie auf einer Siebener-Likert-Skala abgeleitet wurde, galt es anschließend zu beantworten und auszuwerten (Abb. 4).

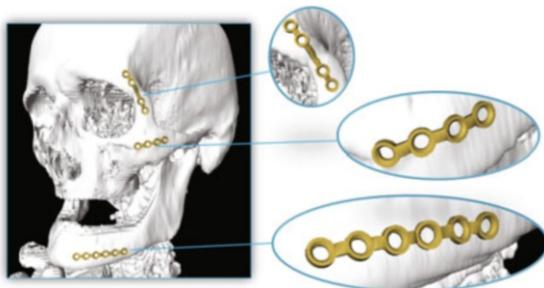


Abb. 3. Planungsergebnisse von drei unterschiedlichen Miniplattenmodellen (Gold) an häufig auftretenden Frakturstellen.

3 Ergebnisse

Die entwickelte Software und das Benutzeroberinterface werden in Abb. 2 präsentiert. Dabei besteht die Benutzeroberfläche aus einem Kontroll- (links) und einem Visualisierungsfenster (rechts). In Abb. 2 wurde ein Datensatz aus der klinischen Routine geladen, bei dem eine Basislinie (grüne Punkte) und ein Implantat

(Gold) unabhängig voneinander platziert wurden. Außerdem wird eine Detailansicht der Basislinie und des Implantats gezeigt (rote Box). Auf der linken Seite können verschiedene Miniplatten aus der Modus 2.0-Serie von MedArtis (www.medartis.com) für eine Planung ausgewählt werden. Abb. 3 zeigt drei verschiedene Implantatmodelle (Gold), die an im klinischen Alltag häufig auftretenden Frakturstellen geplant wurden. Die Software wurde von zwei Kieferchirurgen, einem Biomedizintechniker und einem Informatiker evaluiert. Dazu wurde allen vier Benutzern die Software vorgeführt (Trainingsphase). Danach nahmen die Benutzer eine eigene Planung vor, beginnend mit dem Laden eines Datensatzes bis hin zum Speichern/Exportieren des geplanten Implantats (Zeit T in Minuten). Anschließend wurden die Benutzer gebeten, einen Evaluationsfragebogen auszufüllen: von trifft nicht zu"(0) bis trifft zu"(6) (Abb. 4).

4 Diskussion

In diesem Beitrag haben wir den Prozessablauf von Gesichtsfrakturbehandlungen unter der Verwendung von konventionellen Miniplatten vorgestellt. Dabei können mit unserem Ansatz verschiedene Implantate interaktiv und in kürzester Zeit über unterschiedlichen Frakturen an beliebigen Positionen im Gesicht/Schädel platziert werden. Die Evaluierung des in dieser Untersuchung durchgeföhrten Prozessablaufes mit Hilfe eines Fragebogens zeigte, dass alle Nutzer die Software auf Grund kurzer Trainingszeiten, kurzer Anwendungszeit, Genauigkeit, Präzision der Plattenadaptation und ihrer Benutzerfreundlichkeit als effektives computerunterstütztes interaktives Planungsprogramm zur Generierung von Implantaten am Gesichtsschädel beurteilten. Zukünftige Arbeiten beinhalten die Möglichkeit der Generierung von patientenindividuellen Implantaten, die nach ihrer virtuellen bild- und computergestützten Konstruktion mit Hilfe eines 3D-Druckers oder

Nr.	Fragen	1	2	3	4	Median	Fehler
Q1	Benötigt die Software wenig Einarbeitungszeit?	6	6	6	6	6,00	0
Q2	Können mit der Software zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden?	6	6	6	6	6,00	0
Q3	Stellt die Software genügend Funktionen für die Aufgabe bereit?	6	5	6	6	5,75	0,22
Q4	Ist die Software leicht zu bedienen?	4	6	6	6	5,50	0,43
Q5	Wie zufrieden sind Sie mit der Benutzeroberfläche (Gestaltung, Style, Übersichtlichkeit)?	6	6	6	6	6,00	0
Q6	Wie präzise konnte das Implantat platziert werden?	6	6	6	6	6,00	0
Q7	Wie zufrieden sind Sie mit dem erzielten Resultat?	6	6	6	6	6,00	0
Q8	Wie einfach war es, das Implantat anzupassen (Position, Orientierung, Modell, ...)?	5	6	6	5	5,50	0,25
Q9	Wie zufrieden waren Sie mit dem Zeitaufwand (ohne Training)?	6	6	6	6	6,00	0
Q10	Wie ist Ihr Gesamteindruck?	6	6	6	6	6,00	0
Q11	Angenommen, das 3D-gedruckte Implantat würde mir wenigen Korrekturen passen, würden Sie dann die Software in der täglichen Routine benutzen?	6	6	6	6	6,00	0
T	Wieviel Zeit (in Minuten) haben Sie benötigt, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen?	4,0	5,5	3,5	4,2	4,30	0,37

Abb. 4. Evaluationsfragebogen inklusive Benutzerergebnissen: Biomedizintechniker (1), Kieferchirurg (2), Kieferchirurg (3), Informatiker (4).

einer Fräse hergestellt werden können. Außerdem soll die vorgestellte Arbeit auf Frakturen in anderen Körperteilen – etwa der Wirbelsäule – adaptiert [8] und in ein AR-System zur visuellen Unterstützung eingebunden werden [9].

Danksagung. Diese Arbeit erhielt Förderung von BioTechMed-Graz und der 6. Ausschreibung der kompetitiven Anschubfinanzierung der TU Graz („Interaktive Planung und Rekonstruktion von Gesichtsdefekten“, PI: Dr. Dr. Jan Egger). Dank gilt auch Frau Edith Egger-Mertin für das Korrekturlesen des Beitrags. Ein Video der interaktiven Planung von Gesichtsimplantaten finden Sie unter folgendem YouTube-Kanal: <http://www.youtube.com/c/JanEgger/videos>

Literaturverzeichnis

1. Ritacco L, Milano F. Computer-assisted Musculoskeletal Surgery. Thinking and Executing in 3D. 2016;1:1–326.
2. Bell R. A Comparison of Fixation Techniques in Oro-Mandibular Reconstruction utilizing Fibular free Flaps. J Oral Maxillofac Surg. 2007;65(9):39.
3. Peng L, Wei T, Chuhang L, et al. Clinical Evaluation of Computer-assisted Surgical Technique in the Treatment of Comminuted Mandibular Fractures. J Oral Maxillofac Surg Medicine and Pathology. 2015;27(3):332–6.
4. Chapuis J, Schramm A, Pappas I, et al. A new System for Computer aided pre-operative Planning and intraoperative Navigation during Corrective Jaw Surgery. IEEE J Biomed Health Inf. 2007;11(3):274–87.
5. Egger J, Tokuda J, Chauvin L, et al. Integration of the OpenIGTLINK network protocol for image-guided therapy with the medical platform MeVisLab. Int J Med Robot. 2012;8(3):282–90.
6. Möller T, Trumbore B. Fast, Minimum Storage Ray-Triangle Intersection. Journal of Graphics Tools. 1997;2(1):21–8.
7. Egger J, et al. Fast self-collision detection and simulation of bifurcated stents to treat abdominal aortic aneurysms (AAA). IEEE EMBC. 2007; p. 6231–4.
8. Chen X, Xu L, Yang Y, et al. A semi-automatic computer-aided method for surgical template design. Sci Rep. 2016;20280:1–18.
9. Chen X, Xu L, Wang Y, et al. Development of a Surgical Navigation System based on Augmented Reality using an Optical see-through Head-mounted Display. J Biomed Inform. 2015;55:124–31.