

KasOp - Operationsplanung in der kranio-maxillo-fazialen Chirurgie

O. Schorr¹, J. Brief², C. Haag², J. Raczkowski¹, S. Haßfeld², J. Mühling², H. Wörn¹

¹Institut für Prozeßbrechentechnik, Automation und Robotik,
Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstrasse 12, 76131 Karlsruhe
schorr@ira.uka.de
<http://wwwipr.ira.uka.de/~schorr>

²Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie,
Universität Heidelberg, Im Neuenheimer Feld 400, Heidelberg

Abstract: Der computerunterstützte Arbeitsplatz gewinnt in der chirurgischen Praxis zunehmend an Bedeutung. Neue von Computern gesteuerte Technologien ermöglichen verbesserte Behandlungsmethoden. Nicht selten fehlt hierbei ein durchgängiges Planungskonzept für den Einsatz der komplexen Geräte. Aus diesem Grund stellen wir in diesem Artikel ein Planungssystem für den Einsatz in der kranio-maxillo-fazialen Chirurgie vor. KasOp, unser System, leitet den Chirurgen durch die präoperativ notwendigen Planungsschritte und unterstützt bei der intraoperativen Umsetzung der geplanten Arbeiten. Mittels CORBA Kommunikationstechnologie können beliebige Eingabe- und Ausgabegeräte wie beispielsweise Roboter oder Projektoren integriert werden. über eine Schnittstelle können intraoperativ Daten erfaßt und in das Planungssystem zurückgekoppelt werden. Zur Zeit werden erste klinische Studien durchgeführt. ermöglicht die Positionsverfolgung von Femur und Tibia bei beliebigen Belastungsmustern. Damit ist die Analyse der Bewegungsdaten auf unterschiedlichste Art und Weise möglich ohne Modifikationen am Versuchsaufbau oder an den Messdaten vorzunehmen. Die einmal gewonnenen Bewegungsdaten sind immer wieder verwendbar.

1 Einleitung

Komplexe Systeme zur computergestützten Operation begleiten heutzutage den chirurgischen Alltag. Erste chirurgische Robotersysteme wie das von Ortho Maquet entwickelte CASPAR-System[He99] werden bereits in der klinischen Routine eingesetzt und verlangen dem Chirurgen ein hohes Mass an technischem Know-How ab. Gleichmaßen gewinnt die präoperative Planung zusehends an Bedeutung, um einen korrekten intraoperativen Einsatz der Systeme zu gewährleisten. Eine entscheidende Rolle spielt dabei das Planungssystem, das den Chirurgen durch die einzelnen Arbeitsschritte einfach und intuitiv führen sollte. Die Konfiguration der intraoperativ eingesetzten Geräte sollte weitestgehend vom Planungssystem übernommen werden, um

so den Chirurgen zu unterstützen und technische Details zu verbergen. Hierfür lassen sich in der Literatur verschiedene Ansätze finden.

Bestehende Planungssysteme lassen sich grob in drei Kategorien einteilen [Mü01]. Bei Systemen der ersten Kategorie handelt es sich um Planungswerkzeuge die keine Unterstützung für die intraoperative Umsetzung des Plans zur Verfügung stellen. Sie dienen nur zur Simulation der Operation und des postoperativen Ergebnisses. Ein typisches Beispiel sind die von Everett et al. vorgestellten Erweiterungen des von Gering et al. entwickelten "3D Slicer"[Ge99]. Zwar stehen Werkzeuge für das Schneiden von Anatomien mittels Schnittebenen, Kollisions- und Schädelvermessung zur Verfügung, aber komplexe Schnittgeometrien wie in unserem Anwendungsfall beim virtuellen Entfernen frontoorbitaler Segmente können nicht behandelt werden. Zudem steht das Planungsergebnis nicht für den intraoperativen Einsatz zur Verfügung.

Auch die von Richolt et al. vorgestellte Arbeit[Ri00] erlaubt keine intraoperative Unterstützung bei der Umsetzung der Planung. Die Autoren verwenden aus CT-Daten generierte Oberflächenmodelle um die Beweglichkeit der Hüfte für diagnostische Zwecke zu simulieren. Im Gegensatz dazu wurde von Marmulla et al. [MN99] ein System vorgestellt, welches erlaubt Knochensegmente intraoperativ zu navigieren um mit der Planung verglichen zu werden. Damit zählt dieses System zur zweiten Kategorie an Planungssystemen: Systeme mit intraoperativer Navigationsunterstützung. Andere Arbeiten dieser Kategorie wurden von Dahlen et al.[Da01] oder auch Schramm et al.[Sc99] veröffentlicht. Allen Systemen ist gemein, dass sie nicht aktiv in das intraoperative Geschehen mittels robotischer Systeme eingreifen.

Zur dritten Kategorie der Planungswerkzeuge zählen die Planungskomponenten der bekannten Systeme wie ROBODOC[LBB97] oder CASPAR[He99]. Sie unterstützen den Chirurgen intraoperativ aktiv bei der Umsetzung des präoperativ definierten Plans. Die Unterstützung findet hierbei durch ein robotisches System statt. Zahlreiche Ansätze verwenden aufgabenorientierte Robotersysteme, andere, auch kommerzielle Anwendungen (ROBODOC, CASPAR), hingegen basieren auf herkömmlichen Industrierobotern. Ausführung und Planung sind hierbei häufig entkoppelt, das heißt der präoperativ erstellte Plan kann nicht mehr intraoperativ modifiziert werden. Kommt es demnach zu Abweichungen (bspw. Splintern von Knochensegmenten), so kann intraoperativ nicht mehr auf das Planungssystem zurückgegriffen werden und der Plan wird unbrauchbar.

Unser Planungssystem "KasOp" zählt zu den Systemen der dritten Kategorie. Es unterstützt also die intraoperative Umsetzung des Plans aktiv. Es wurde eine intuitive Benutzerschnittstelle geschaffen die eine Eingabe komplexer Robotertrajektorien erlaubt. Zusätzlich wurde ermöglicht intraoperative Daten in das System zurück zu koppeln.

2 Systemarchitektur

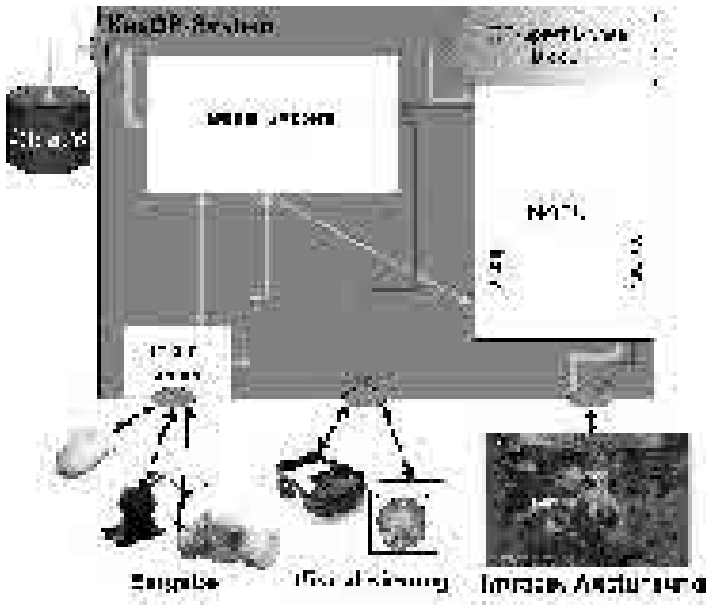


Abbildung 1: Architektur des Planungssystems "KasOp"

Das hier vorgestellte Planungssystem (Abbildung 1) arbeitet auf Oberflächenmodellen und dreidimensionalen CT/MRT-Schichtbildern. Diese Daten werden dem Planungssystem durch eine kommerzielle ORACLE Datenbank bereitgestellt in die die Radiologen die Patientendaten vor dem Planungsschritt übertragen. Die Planung des Chirurgen erfolgt im virtuellen dreidimensionalen Raum auf den Objekt-Oberflächen die zuvor von den Schichtbildern rekonstruiert wurden. So bekommt der Chirurg einen räumlichen Eindruck von der Pathologie des Patienten was ihm die Planung erleichtert.

Durch die Integration von CORBA-Kommunikation ist KasOp ein sehr flexibles Planungswerkzeug, sowohl prä- als auch intraoperativ. Die Eingabe von Planungsdaten wie Schnitttrajektorien, Bohrlöchern oder Vermessungen erfolgt über einen sogenannten Eingabe-Server. Dieser erlaubt aufgrund der CORBA-Technologie die Integration und Verwaltung beliebiger Eingabegeräte wie 6D-Mouse oder haptische Eingabegeräte (PHANToM). Ebenso können beliebige Ausgabegeräte mittels CORBA-Einsatz an das Planungssystem angekoppelt werden. Hierzu zählen einerseits Visualisierungskomponenten wie Projektoren oder Head-Mounted-Displays [Ho01] und andererseits chirurgische Robotersysteme [ERW01].

Ein weiterer Vorteil der Verwendung von CORBA ist die Plattformunabhängigkeit. Sie ermöglicht uns eine leichte Erweiterung des bestehenden Planungssystems durch die Anbindung externer Module. So können auch Module, die auf anderen Plattformen implementiert sind leicht integriert werden und sind gegeneinander austauschbar. Beispielsweise kann auch ein Module erstellt werden, welches den Roboter als Eingabegerät zulässt.

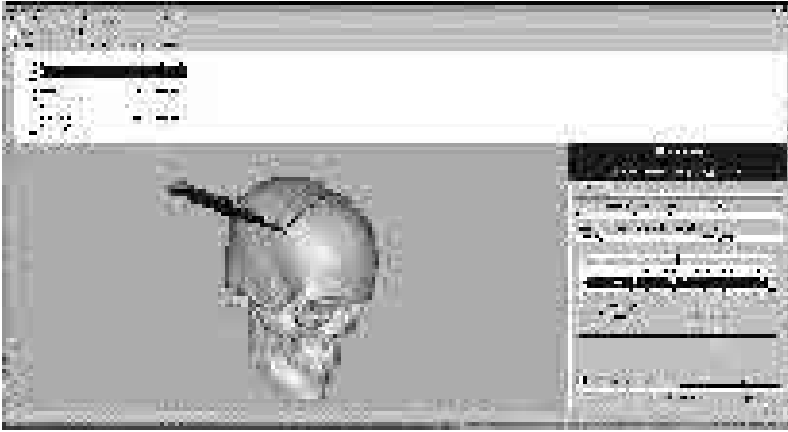


Abbildung 2: Die Benutzerschnittstelle von KasOp

Abbildung 2 stellt die Benutzerschnittstelle des Planungssystems KasOp dar. Zu sehen ist das große Fenster mit den dreidimensionalen Oberflächenmodellen des Patienten-Schädels. Ein virtuelles Skallpel, welches sich auf der Oberfläche des Modells bewegt, stellt gibt die Position für die Eingabe von Bohrlöchern oder Trajektorienpunkten an. Durch Menüs wurde eine intuitive Benutzerschnittstelle geschaffen die den Chirurgen durch die einzelnen Planungsschritte führt.

3 Methoden und Planungsschritte

3.1 Geometrische Primitive

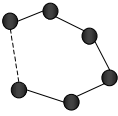
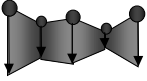
Point	Line	Ray	Polygon	Trajectory
				

Abbildung 3: Basis-Objekte für die Planung

Der Plan eines chirurgischen Eingriffs besteht aus technischer Sicht aus einer Menge von chirurgischen Basis-Operationen wie Sägen, Bohren, Fräsen oder Nähen. Wir konnten feststellen, dass diese Basisoperationen bei kranio-maxillo-fazialen Eingriffen in die Gruppen Punkt, Linie, Strahl, Polygon und Trajektorie eingeteilt werden können (Abbildung 3). Diese Basis-Planungsobjekte sind in unserem Planungssystem verfügbar und können auf die dreidimensionale Szene angewendet werden. In Bezug auf die Ausführung durch einen Roboter dienen Strahlen als Positionen für Bohrlöcher (Strahlen haben in KasOp eine Oberflächennormale und eine Tiefe) und Trajektorien für die Bewegung von Robotertrajektorien, da sie sowohl Richtung als auch Tiefe in allen Stützpunkten beinhalten.

3.2 Planung im virtuellen Raum

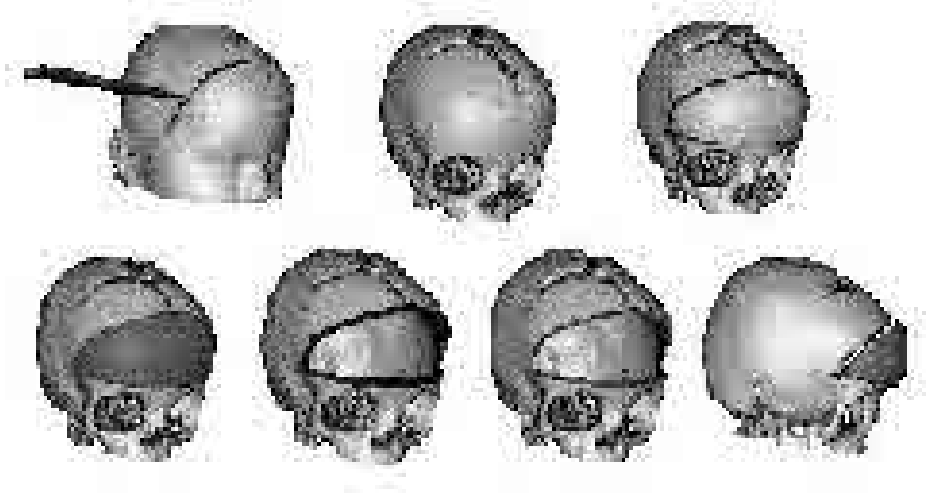


Abbildung 4: Schritte bei der virtuellen Planung in KasOp

Die einzelnen Arbeitsschritte bei der Planung eines Fronto Orbitalen Advancements sind exemplarisch in Abbildung 4 dargestellt. Ausgehend vom Oberflächenmodell der Haut des Patienten wird zunächst ein optimaler Verlauf für den Biegelschnitt zur Freilegung des Knochens bestimmt (im Bild oben links dargestellt). Für den weiteren Verlauf der Planung wird nun das Oberflächenmodell des Knochens eingesetzt. Zunächst werden die Positionen festgelegt, an denen der Schädel trepaniert werden soll, um so einen Zugang für die Fräse zu schaffen. Danach wird die Trajektorie mittels Stützpunkten auf dem Schädel festgelegt. Diese Trajektorie kann intraoperativ beispielsweise visualisiert oder vom Roboter abgefahren werden. Das Ergebnis des virtuellen Schnitts durch das Knochenmodell ist in Abbildung 4 links unten dargestellt. Der dunkelgraue Bereich ist frei verschiebbar. Wird das ausgeschnittene Segment aus der Visualisierung ausgeblendet, so wird das Innere des Schädelmodells sichtbar. Der Chirurg kann nun das frontale Knochensegment verschieben und nach vorne verlagern. Das Ergebnis der Verlagerung ist rechts unten im Bild dargestellt.

3.3 Risikostrukturen

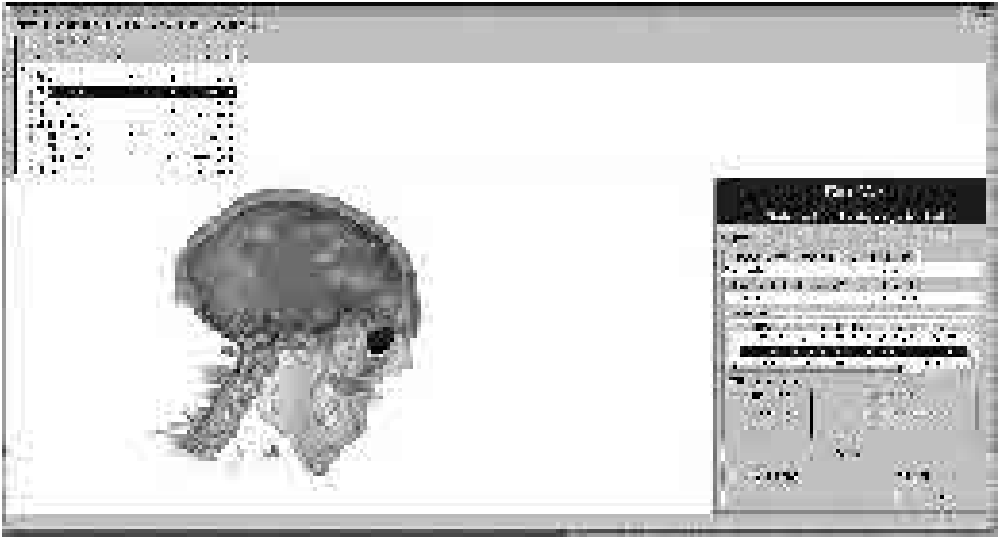


Abbildung 5: Risikoregionen können durch Visualisierung mit berücksichtigt werden

Für den chirurgischen Planungsprozess ist es unabdingbar Risikoregionen zu berücksichtigen. Mit unserem Planungssystem können zuvor festgelegte und segmentierte Risikoregionen wie beispielsweise Augäpfel oder Gehirn in die Planung integriert werden. Stehen Modelle der Risikoregionen zur Verfügung, so können diese entsprechend farblich markiert und visualisiert werden. Abbildung 5 zeigt an einem Beispiel die halbtransparente, gleichzeitige Visualisierung von Haut, Knochen, Gehirn und Augäpfeln.

4 Zusammenfassung

In diesem Artikel wurde das von uns entwickelte Planungssystem "KasOp" vorgestellt. Dieses System wird zur Planung kranio-maxillo-fazialer Eingriffe eingesetzt und befindet sich derzeit in klinischer Evaluation. Auf den aus einer Datenbank bereitgestellten dreidimensionalen Oberflächenmodellen des Gewebes des Patienten (bspw. Knochen) können unter anderem Trajekturen und Bohrlöcher definiert werden. Diese Planungsdaten werden intraoperativ zur Verfügung gestellt und können zum einen visualisiert und zum anderen zur Steuerung eines chirurgischen Roboters benutzt werden. "KasOp" setzt auf die Kommunikationstechnologie CORBA auf, was uns ermöglicht beliebige Eingabegeräte wie 6D-Maus oder haptische Werkzeuge zur intuitiven Benutzereingabe an das Planungssystem anzukoppeln. Andererseits können beliebige Visualisierungskomponenten wie Projektoren und invasive Komponenten wie chirurgische Roboter vom System angesprochen werden.

Literaturverzeichnis

- [Da01] Dahlen, H.C.: 3D-Software VoXim. Quelle aus dem Internet: <http://www.tu-dresden.de/vd51/messe/medica00.htm>, Stand Mai 2001
- [ERW01] Engel, D., Raczkowski, J., Wörn, H.: A Safe Robot System for Craniofacial Surgery. IEEE International Conference On Robotics And Automation (ICRA), Seoul, Korea (accepted) (2001)
- [Ge99] Gering, D., Nabavi, A., Kikinis, R., Grimson, W.E.L., Hata, N., Everett, P., Jolesz, F., Wells III, W.: An Integrated Visualization System for Surgical Planning and Guidance using Image Fusion and Interventional Imaging. In Proceedings Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (MICCAI), Cambridge, England (1999)
- [He99] Heeckt, P. et al.: Computer Assisted Surgical Planning and Robotics with the CASPAR System. Jerosch, J. et al., Rechnergestützte Verfahren in Orthopädie und Unfallchirurgie, Darmstadt (1999)
- [Ho01] Hoppe, H., Däuber, S., Raczkowski, J., Wörn, H., Moctezuma, J.-L.: Intraoperative Visualization of Surgical Planning Data Using Video Projectors. In Proceedings Medicine Meets Virtual Reality (MMVR), Newport Beach, California, Vol 81, IOS Press (2001)
- [LBB97] Lahmer, A., Börner, M., Bauer, A.: Experiences with an image-guided planning system (ORTHODOC) for cementless hip replacement. First Joint Conference on Computer Vision, Virtual Reality and Robotics in Medicine and Medical Robotics and Computer Assisted Surgery (CVRMed-MRCAS), Grenoble, Frankreich (1997)
- [MN99] Marmulla, R., Niederdellmann, H.: Surgical Planning of Computer-Assisted Repositioning Osteotomies. Plast Reconstr Surg, Vol. 104(4) (1999)
- [Mü01] Münchenberg, J.: Rechnergestützte Operationsplanung in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, Universität Karlsruhe, Dissertation (2001)
- [Ri00] Richolt, J.A., Everett, P., Teschner, M., Kikinis, R., Millis, M.B.: Computerassistierte Planung von Umstellungsosteotomien in Fällen von Epiphysioloysis capitis femoris. In Der Orthopäde, Springer Verlag, Heidelberg 29(7) (2000)

- [Sc99] Schramm, A., Gellrich, N.-C., Schimming, R., Gläser, R., Schneider, U., Schmelzeisen, R.: Rechnergestützte Insertion von Zygomaticus-Implantaten (Branemark System) nach ablativer Tumorchirurgie. International Poster Journal of Dentistry and Oral Medicine (IPJ) Vol. 1 Nr. 4 Poster 25 (1999)
- [Sc00] Schutyser, F., Cleyenbreugel, J. Van, Ndjimi, N., Schoenaers, J., Suetens, P.: 3D image-based planning for unilateral mandibular distraction, Lemke, H. et al., 14th International Symposium and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS), San Francisco (2000), 899-904