

# Operationsplanung in der kranio-fazialen Chirurgie Einsatz eines Oberflächenscanners zur Optimierung der intraoperativen Umsetzung

Sascha A. Däuber, Thorsten Bräumer, Harald Hoppe, Robert Krempien\*, Jörg Rackowsky, Jakob Brief\*\*, Stefan Haßfeld\*\*, Heinz Wörn

Institut für Prozessrechen-technik, Automation und Robotik  
Universität Karlsruhe (TH)  
\*Institut für Klinische Radiologie  
Universität Heidelberg  
\*\*Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie  
Universität Heidelberg  
Email: daeuber@ira.uka.de

**Zusammenfassung.** Computer- und robotergestützte Systeme zur Unterstützung chirurgischer Eingriffe gelangten innerhalb der letzten Jahre zur Praxisreife. Im Allgemeinen stellen diese Systeme Methoden zur präoperativen Planung eines Eingriffs [1, 2] und zu dessen Durchführung mittels eines autonomen Robotersystems [3, 4] zur Verfügung. Aufgrund der grundsätzlichen Einschränktheit eines Roboters komplexe Arbeitsschritte zu übernehmen, fallen jedoch auch bei roboterunterstützten Eingriffen Arbeitsschritte an, die der Chirurg zwar computerunterstützt planen kann, die er aber manuell durchführen muss. In der Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie werden osteotomierte Knochen-segmente manuell ineinander in einem Operationsplanungssystem vorgegebene Ziel-Form modelliert. Diese Arbeit stellt ein System vor, das mit Hilfe eines Oberflächenscanners manuelle Knochen-Deformationen intraoperativ validiert.

## 1 Einleitung

Am Institut für Prozessrechen-technik, Automation und Robotik (IPR) der Universität Karlsruhe (TH) wird gegenwärtig ein System zur computerunterstützten Planung und Simulation des sog. Frontal Orbital Advancement (FOA) zur Therapie von Krani-synostosen entwickelt [5]. Dieses hauptsächlich bei Kleinkindern auftretende Krankheitsbild entsteht durch eine zu frühe Verknöcherung des Schädels. Dadurch manifestieren sich Asymmetrien im Bereich des Schädeldaches und/oder des Gesichtes. Weiterhinkommt es aufgrund der eingeschränkten Wachstumsfähigkeit des Schädels zu einem erhöhten Hirndruck, was unbehandelt zu irreparablen Schädigungen bis hin zum Tod führen kann. Ziel des Eingriffs FOA ist primär die Erhöhung des intrakraniellen Volumens, sekundär die Rekonstruktion der typischen Ästhetik des Patienten. Dabei wird der Schädel in mehrere Knochen-segmente (Kalotte, Orbiter) osteotomiert und das intrakranielle Volumen durch vorgelagerte Fixierung dieser

Teilerhöht. Dabei ändert sich außer der Lage der Knochenteile auch deren Orientierung. Für eine optimale Fixierung, dies sowohl funktionale als auch ästhetische Aspekte beachtet, ist es notwendig, dass der Chirurg die beim Kleinkind noch weichen Knochen deformiert. Ein Operationsplanungssystem stellt Methoden zur Planung der Schnitte und Deformationen der Knochenteile und deren Fixierung mit Hilfe von Miniplatten zur Verfügung [1].

Für eine optimale Umsetzung der präoperativen Planung ist es notwendig, die Deformation der Knochenteile exakt durchzuführen. Diese Arbeit stellt anhand des zentralen Knochensegments, der Kalotte, ein System vor, den Operateur durch den Deformationsprozess zu führen. Das System vergleicht das geplante Kalottenmodell mit der intraoperativ aufgenommenen realen Kalotte und visualisiert die noch zu modellierenden Abschnitte des Knochens. Der Chirurg nutzt diese Visualisierung zur Korrektur der Deformation. Erreicht die Übereinstimmung der realen mit der geplanten Kalotte einen festgelegten Genauigkeitsgrad, wird der Prozess abgeschlossen und das Knochensegment zur Fixierung freigegeben.

## 2 Methoden

Der gesamte Prozess ist in Abbildung 1 dargestellt. In der präoperativen Phase wird zunächst aus initialen CT-Bildern ein Netzmodell des Schädels erstellt, aus dem in der Planung dann die Ziel-Form der Kalotte geschnitten und modelliert wird. Zusammen mit der intraoperativen Osteotomie der realen Kalotte wird dieser Prozess in Abschnitt 2.1 näher beschrieben. In der intraoperativen Phase liegen nun sowohl die reale Kalotte als auch die virtuelle Ziel-Form vor. Nach einem ersten Deformationsprozess, den der Chirurg manuell durchführt (Abschnitt 2.4), wird die aktuelle Ist-Form des Knochensegments mit Hilfe des in Abschnitt 2.2 beschriebenen Oberflächen-scanners erfasst. Mit dem in Abschnitt 2.3 beschriebenen Verfahren wird nun die virtuelle Ziel-Form und die reale Ist-Form verglichen und einer Bewertung unterzogen. Ist die Übereinstimmung nicht ausreichend, wird die reale Kalotte zur weiteren Deformation an den Chirurgen zurückgegeben, andernfalls wird der Prozess beendet. Das zur fixierende Knochensegment stimmungen genau mit der geplanten Form überein.

### 2.1 Vorbereitungen

Die Vorbereitung teilt sich in eine präoperative und eine intraoperative Teilphase. In der präoperativen Planungsphase wird zunächst der Schädel interaktiv segmentiert, wobei Standardalgorithmen zum Einsatz kommen. Danach wird in einer Reihe von Verarbeitungsschritten ein dreidimensionales Netzmodell (Tetraheder) des Schädels generiert. Im Wesentlichen wird dabei die in [7] vorgestellte Methode eingehalten. Das Netzmodell dient nun zur Ausführung der Operationsplanung, mit deren Abschluss ein virtuell deformiertes Modell der Kalotte vorliegt. Dieses definiert die Ziel-Form des Knochensegments.

Im Operationsverlauf werden die notwendigen Knochenteile freipräpariert und gesägt. Nach Ende der Osteotomie liegt die reale Kalotte freibeweglich vor.

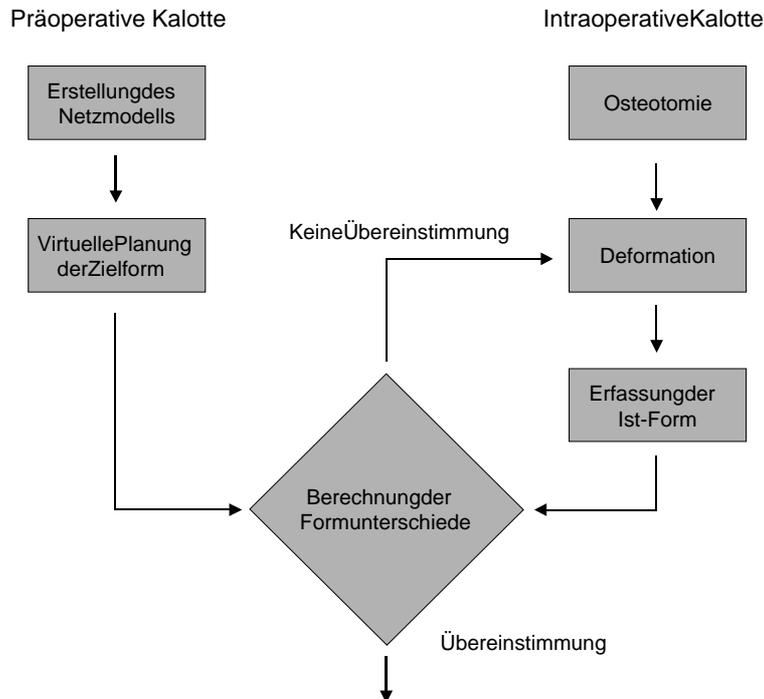


Abb.1: Flussdiagramm des Prozesses

## 2.2 Intraoperative Bildgebung

Die aktuelle Form der Kalotte wird mit Hilfe eines sog. Oberflächenscanners erfasst. Dabei wird eine Serie von Streifenmustern („kodierte Licht“) auf das Knochen- ment projiziert und die Bildfolge von zwei CCD-Kameras aufgenommen. Im Rechner werden diese gewonnenen Bilder unter Beachtung der sich ausbildenden Moiré-Mustern ausgewertet und liefern eine Menge von dreidimensionalen Raumkoordinaten (Punktwolke) zurück, die alle auf der Oberfläche der Kalotte liegen [6]. Daraus lässt sich die dreidimensionale Form der Kalotte rekonstruieren. Damit sind sowohl reale als auch geplante Kalotte in digitaler Form vorhanden.

g-  
h-  
a-

## 2.3 Visualisierung der Differenzen

Für den Vergleich der beiden Kalottenmodelle ist es zunächst notwendig, mit einem auf Momenten basierenden Registrierungsalgorithmus die geplante und reale Kalotte maximal zur Übereinstimmung zu bringen. Dabei wurde speziell darauf geachtet, dass die beiden Modelle so zur Überlagerung kommen, dass die Unterschiede gut zu visualisieren sind. Im nächsten Schritt berechnet und das System die Güte der Übe-

r-

einstimmung zwischen den beiden Modellen. Dabei wird zunächst der senkrechte Abstand jedes Punktes einer Form zur Oberfläche der anderen berechnet. Die Summe über die Quadrate dieser Werte ergibt ein skalares Kriterium, das mit steigender Übereinstimmung der Modelle gegen Null geht.

m-  
e-

Zur Visualisierung der Unterschiede stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Zum Beispiel können Vektorpfeile in die Modelle eingeblendet werden, die dem Chirurgen ein Deformationsfeld anzeigen. In einer anderen Darstellung wird jedem Punkt des Ist-Modells ein Farbwert zugeordnet, der den Abstand dieses Punktes zum Zielmodell kodiert. In einer weiteren Entwicklungsstufe sollen hier Methoden entwickelt werden, die dem Chirurgen Hilfestellungen geben, an welcher Stelle des Modells er wieder deformieren muss.

ü-

## 2.4 Deformation der Kalotte

Der Deformationsprozess wird vom Chirurgen iterativ solange durchgeführt, bis die Kalotte mit der geplanten Form ausreichend genau übereinstimmt. Die Modellierungsvorgänge werden z. B. in [8] beschrieben. Nach Abbruch des in Abb. 1 dargestellten Prozesses wird die Kalotte am Schädel repositioniert und durch Miniplatten fixiert.

e-  
e-

## 3 Ergebnisse

Ein Prototyp des oben beschriebenen Systems befindet sich in der letzten Phase der technischen Erprobung am IPR. Dabei werden Knochensegmente durch handelsübliche Knetmassen simuliert. Das System erlaubt eine genaue Modellierung der geplanten Formen in wenigen Iterationsschritten. Um jedoch die Anzahl dieser Schritte im Hinblick auf eine minimale Operationsdauer zu optimieren, werden zur Zeit noch verschiedene Formen der Visualisierung betrachtet, um dem Chirurgen möglichst schnell die Unterschiede der beiden Kalottenmodelle anzeigen zu können.

i-  
n-

Um das System zum klinischen Einsatz zu bringen, stehen nach Klärung der Visualisierung Fragen der Sicherheit und der Genauigkeit im Vordergrund.

i-

## 4 Diskussion

Das hier vorgestellte System erlaubt es, präoperativ geplante Eingriffe an Knochen wie Biegen und Deformieren intraoperativ zu validieren und zu steuern. Dadurch erhält man eine genauere intraoperative Übertragung der Planung und ermöglicht es somit, Zielgrößen des Eingriffs genauer zu erreichen. Zusammen mit ebenfalls am IPR entwickelten Weichgewebssimulationen wird es möglich sein, das postoperative Aussehen des Patienten zu planen und die notwendigen Schritte intraoperativ exakt umzusetzen. Auch in Anbetracht des geringen Alters der Patienten sind ästhetische Aspekte nicht zu vernachlässigen. Hier erhoffen sich die Chirurgen bessere Ergebnisse, um die Beeinträchtigung der Patienten so gering wie möglich zu halten.

b-

## 5 Danksagung

Die hier vorgestellte Arbeit ist Teil des Sonderforschungsbereichs 414 „Informationstechnik in der Medizin – Rechner- und sensorgestützte Chirurgie“. Dieser wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

## 6 Literatur

1. J. Münchenberg, H. Wörn, J. Brief, C. Kübler, S. Hassfeld, J. Mühling: A Pattern Catalogue of Surgical Interventions for Computer-Supported Operation Planning, *Medicine Meets Virtual Reality (MMVR)*, J.D. Westwood et al. (Eds.), pp. 227-229, 2000.
2. A. Lahmer, M. Börner, A. Bauer; Experiences with an image-guided planning system (ORTHODOC) for cementless hip replacement; Proceedings of First Joint Conference on Computer Vision, Virtual Reality and Robotics in Medicine and Medical Robotics and Computer Assisted Surgery (CVRMed-MRCAS'97), Grenoble, France, 1997.
3. Luethet. al.; A surgical Robot System for Maxillofacial Surgery. *IEEE Int. Conf. On Industrial Electronics, Control and Instrumentation (IECON)*, Aachen, Germany, Sep. 1998, pp. 2470-2475.
4. H. Wörn, J. Raczowsky, D. Engel; Chirurgieroboter - eine Herausforderung an die Robotik; *Robotik 2000*, Berlin, 29.-30. Juni, 2000.
5. St. Haßfeld, J. Brief, R. Krempien, J. Raczowsky, J. Münchenberg, H. Giess, H.P. Meiner, U. Mende, H. Wörn, J. Mühling; Computerunterstützte Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie; *Zeitschrift "Radiologe"* 2000, Springer-Verlag, 2000, 40: 218-226.
6. H. Gärtner; Quantitative 3D- Vermessung mit codierter Beleuchtung. *Institut für Technische Optik*, Universität Stuttgart, 1998.
7. Lorensen.,, Creating Models From Segmented Images With VTK“; <http://www.crd.ge.com/~lorensen/seg12/>.
8. Stephen Fedtke, Stefan Haßfeld, Joachim Mühling; *Computerunterstützte Chirurgie*; Vieweg, Wiesbaden, 1994.