

# Integriertes Rapid-Prototyping von Organmodellen aus CT-Datensätzen

Nikolas Doerfler<sup>1</sup> und Tim C. Lueth<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Mikro- und Medizingerätetechnik, Technische Universität München  
Kontakt: Nikolas.Doerfler@tum.de

## Einleitung

Bei chirurgischen Eingriffen ist heutzutage die CT-Bildgebung das Mittel der Wahl zur Planung von Operationsstrategie, Techniken und Zugangswegen. Moderne Anlagen erlauben hierbei hohe Auflösungen im Submillimeterbereich bei gutem Kontrastverhältnis. Trotzdem sind solche Datensätze nicht immer einfach zu deuten und erfordern ein hohes Maß an dreidimensionalem Vorstellungsvermögen da die Daten meist nur schichtweise betrachtet werden können. Bei komplizierten Operationen im Bauchraum, wie z.B. der Leberresektion ist eine genaue Planung und Umsetzung von entscheidender Bedeutung. Laut einer Studie [1] werden bei 87% der Operationen CT und MRT Daten und Aufbereitungen von CT-Datensätzen als Segmentierungen und 3D-Rekonstruktionen zur Erkennung der Lageverhältnisse und zur präoperativen Diagnose genutzt. Um letztere erstellen zu können, wurden speziell für die Leberchirurgie verschiedene Softwaresysteme entwickelt[2,3]. Wichtige Entscheidungen wie z.B. Resektabilität von Tumoren können jedoch trotzdem oft nur intraoperativ getroffen werden. Hierzu werden Bildschirmvisualisierungen und 3D-Rekonstruktionen kaum verwendet. Trotzdem wünschen sich viele Chirurgen eine bessere Veranschaulichung von präoperativen Daten. Es wird erwartet, dass ein physisches Modell der Anatomie des Patienten, wie es bereits in der maxillofazialen Chirurgie und Orthopädie [4] verwendet wird, große Vorteile bei der Planung des Eingriffs und eine verbesserte Übersicht während der Umsetzung bietet. Um solche Modelle zeitnah und kostengünstig herstellen zu können bieten sich Rapid-Prototyping-Verfahren (RP-Verfahren) wie der 3D-Druck an. Mittels dieser Verfahren können Modelle innerhalb weniger Stunden mit hoher Genauigkeit hergestellt werden. Als Grundlage des Herstellungsprozesses können bereits für die Planung segmentierte Modelle der Organstrukturen verwendet werden. Es existiert hierbei noch kein System das eine integrierte Lösung, vom CT-Datensatz zum RP-Modell bietet. In dieser Arbeit soll eine Methode vorgestellt werden die es erlaubt in einem integrierten Prozess ein Modell der Leber aus CT-Daten zu segmentieren und direkt auf einem 3D-Drucker zu erstellen. Dies wurde am Beispiel eines Modells einer Leber mit Lebergefäßen und Tumoren gezeigt.

## Methoden und Materialien

RP-Modelle von Organen sollten den folgenden Anforderungen genügen, um für den Chirurgen von Nutzen zu sein:

- Das Modell sollte eine korrekte maßstabsgetreue Darstellung anatomischer Details wie Blutgefäße, Tumoren und Organgrenzen darstellen.
- Die innere Struktur des Modells soll sichtbar sein. Visualisierungen erreichen dies durch Transparenz; dies ist bei einem festen RP-Modell nicht möglich.
- Alle Organstrukturen müssen als einzelne voneinander abgeschlossene Objekte vorliegen.
- Je nach verwendeter RP-Technologie müssen Stützstrukturen am Ende des Prozesses entfernt werden.
- Der Herstellungsprozess soll möglichst wenige Prozessschritte erfordern und so weit wie möglich automatisiert werden, um den Chirurgen nicht mit technischen Aufgaben zu belasten.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurde ein Softwaresystem entwickelt, das für die Erstellung von Modellen für die Leberchirurgie optimiert ist. Der Mediziner soll das System selbst bedienen und mit einfachen, wenigen Arbeitsschritten innerhalb weniger Minuten zum Ergebnis gelangen. Zur Erstellung eines Modells wurden die folgenden Prozesse implementiert:

- Laden von CT Datensätzen des Bauchraums und der Leber.
- Semiautomatisches Verfahren zur Segmentierung der Lebergrenze, der Lebertumore und der Lebergefäße. Das Verfahren arbeitet auf Basis eines histogrammbasierten Region-Growing Algorithmus. Das System macht hierbei einen Segmentierungsvorschlag der anschließend manuell korrigiert werden kann. Das Ergebnis des Verfahrens besteht neben einer Segmentierung aus einem 3D-Modell der Leber mit Gefäßen und Tumoren.
- Aus dem kompakten Visualisierungsmodell wird ein RP-geeignetes Modell erzeugt. Aus den segmentierten Volumendaten wird das Innere durch einen subtraktiven Prozess bis zu einer RP-geeigneten Wandstärke von 1- 2mm entfernt um so innen liegende Strukturen wie Gefäße und Tumoren sichtbar zu machen. Hieraus wird dann ein neues Oberflächenmodell zum Export berechnet.
- Export des Oberflächenmodells zur direkten Erstellung auf einem 3D-Drucker. Es kann gewählt werden in welchem Maßstab das Modell erstellt werden soll.
- Import des Modells vom Datenträger auf dem RP-System und Erstellen des Modells.

Ein RP-Verfahren, das zur Erstellung von Organmodellen geeignet ist, ist der 3D-Druck[4]. Es wurde insbesondere weiterentwickelt, um mehrfarbige Strukturen in einem Herstellungsvorgang zu erzeugen. Hierbei wird

schichtweise Pulvermaterial mittels einer durch herkömmliche Druckköpfe aufgetragenen Binderflüssigkeit verfestigt. Um das bei diesem Prozess im Inneren des Modells liegende Pulver entfernen zu können, müssen daher Löcher in der Organhülle des Oberflächenmodells vorgesehen werden.



**Abb. 1 Extrahiertes Lebermodell**



**Abb. 2 RP-Modelle der Leber mit Gefäßbaum und Tumoren, rechts, das nachträglich geöffnete Modell.**

## Diskussion und erste Ergebnisse

Das entwickelte System wurde mit einer CT-Aufnahme der Leber validiert. So konnte von einem kontrastmittelverstärkten Datensatz der Leber eines Patienten mit mehreren Tumoren eine Segmentierung erstellt, und als Modell im Maßstab 1:5 exportiert werden. Die Leberoberfläche wurde dabei mit einer Wandstärke von 1mm erstellt. Dieses Modell wurde anschließend auf einem 3D-Drucker (ZCorp, ZPrint Spektrum 510) mehrfarbig (Lebergewebe in braun, Tumore in Gelb, Gefäße in violett) ausgedruckt. (Siehe Abb. 1)

Nach der RP-Herstellung wurde das Modell mittels des Kunststoffes PX100 (Epoxidharz) mechanisch stabilisiert. Ein solches geschlossenes Modell ist zunächst wenig anschaulich. Deshalb wurde mittels einer feinen Säge die Oberseite entfernt um so die inneren Strukturen darzustellen. Dies könnte eventuell auch vom Chirurgen selbst mittels Skalpell durchgeführt werden. Alternativ könnte später das Modell auch geöffnet gedruckt werden, dabei muss jedoch auf die feinen, innen liegenden Strukturen geachtet werden, die leicht zerbrechen können.

Es ergab sich, dass die segmentierten Strukturen aus dem 3D-Modell im RP-Modell gut wiedergegeben wur-

den. Die Bearbeitungszeit für den gesamten Datensatz betrug insgesamt weniger als 15min für die Segmentierung und den Dateixport und ca. 2h für den Druckvorgang. Dies ist für eine schnelle Anwendung im Klinischen Umfeld und Herstellung in größeren Stückzahlen akzeptabel. Ein solches Modell im Maßstab 1:5 hat Herstellungskosten von ca. 30-50 Euro. Bei Originalgröße sind die Kosten und RP-Prozesszeiten entsprechend höher anzusetzen.

Je nach verwendeten 3D-Druckverfahrens ist es nicht möglich beliebig kleine Strukturen herstellen zu können. Besonders bei kleinem Maßstab (1:5 oder 1:10) kann dies problematisch werden, da Teile während der Herstellung abbrechen können.

Obwohl die erstellten Modelle ein erstes Ergebnis darstellen, muss das Verfahren noch auf anderen RP-Technologien getestet werden und für andere Organe entsprechend angepasst werden.

## Schlussfolgerungen

Es wurde ein Softwaresystem entwickelt, das es erlaubt eine semiautomatische Segmentierung der Leber von CT-Aufnahmen durchzuführen, das Ergebnis in Form eines für Rapid-Prototyping Verfahren geeigneten Formats zu exportieren und direkt als RP-Modell herzustellen. Die wesentliche Neuerung des beschriebenen Verfahrens liegt in der Möglichkeit, eine vorhandene Visualisierung in einem integrierten Verfahren direkt in ein physisch vorhandenes Modell zu transformieren. Hierzu sind keine weiteren technischen Schritte notwendig. Besonderer Wert wurde dabei außerdem auf das einfache, intuitive Bedienkonzept des Systems gelegt. Weitere Tests sowie eine Evaluierung des klinischen Vorteils von Organmodellen in der Weichgewebschirurgie sind Thema nachfolgender Arbeiten.

## Literatur

- [1] Oldhafer, K.; Preim, B.; Dörge, C.; Peitgen, H. -O.; Broelsch, C. (2002): Akzeptanz einer computergestützten Operationsplanung in der Viszeralchirurgie Ergebnisse einer bundesweiten Befragung. In: Zentralblatt für Chirurgie, Thieme Verlag, Band 127(2), S. 128-133.
- [2] Fishman, E. K.; Kuszyk, B. S.; Heath, D. G.; Gao, L.; Cabral, B. (1996): Surgical Planning for Liver Resection. In: Computer, Vol. 29, No. 1 (1996), S. 64-72.
- [3] Bourquain, H., Schenk, A., Link, F., Preim, B., Prause, G., Peitgen, H.-O. HepaVision2: A software assistant for preoperative planning in living-related liver transplantation and oncologic liver surgery In H. U. Lemke et al. (eds.) Computer Assisted Radiology and Surgery 2002, Amsterdam: Elsevier, pp. 341-346.
- [4] Zeilhofer, H. -F; Sader, R.; Kliegis, U.; Neff, A.; Horch, H. -H (1997): Die Masshaltigkeit von Stereolithographiemodellen für Operationsplanungen. In: Biomedizinische Technik, Vol. 42, S.349-351.
- [5] Sachs, Emanuel M. et al, (1993), Three-dimensional printing techniques, US Patent 5 340 656, Massachusetts Institute of Technology, Apr 9, 1993