

Der LiverSurgeryTrainer - Ein chirurgisches Trainingssystem für die Planung von Eingriffen an der Leber

Jeanette Mönch¹, Konrad Mühler¹, Karl-Jürgen Oldhafer², Gregor Stavrou², Christian Hillert³, Christoph Logge⁴, Bernhard Preim¹

¹ Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Simulation und Graphik, Magdeburg, Germany

² Asklepios Klinik Barmbek, Hamburg, Germany

³ Krankenhaus Reinbek, St. Adolf-Stift, Hamburg, Germany

⁴ Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany

Kontakt: jeanette.moench@ovgu.de

Abstract:

Wir präsentieren den LiverSurgeryTrainer, ein fallbasiertes Trainingssystem zur Vermittlung des klinischen Vorgehens bei der computergestützten Planung von Eingriffen an der Leber. Der Schwerpunkt liegt auf dem Training der Interaktion mit 3D-Modellen der Patientenanatomie und den Interaktionstechniken zur Planung eines operativen Eingriffs. Es können die Definition von Resektionsflächen zur Tumorresektion bzw. Spenderevaluierung bei Leberlebendspenden auf Schichtbilddaten trainiert werden. Die Entwicklung erfolgte auf Basis des szenariobasierten Designs, um die Mediziner möglichst eng in die Entwicklung einzubeziehen. Für die effektive Wissensvermittlung ist die Verwendung eines didaktischen Konzeptes bzw. Instruktionsdesignmodells essentiell. Die didaktische Gestaltung des LiverSurgeryTrainers orientiert sich deshalb am Vier-Komponenten-Instruktionsdesign-Modell. Das System wurde mehreren Evaluierungen unterzogen. Es ist im Rahmen einer Verbundförderung entstanden, die kürzlich abgeschlossen wurde.

Schlüsselworte: Lernsystem, chirurgisches Trainingssystem, Leberchirurgie, Evaluierung

1 Problem

Für die operative oder interventionelle Behandlung von Lebertumoren existiert eine Vielzahl an Möglichkeiten. Für die Therapieentscheidung spielen die Auswirkungen auf die Gefäßversorgung und -entsorgung eine große Rolle. Besondere Herausforderungen ergeben sich dabei durch die große anatomische Vielfalt der Lagebeziehungen und krankhaften Veränderungen der Leber. Die computergestützte Operationsplanung für Eingriffe an der Leber wird seit einigen Jahren klinisch eingesetzt [1][2]. Die Systeme ermöglichen den Chirurgen, einen therapeutischen Eingriff mit Hilfe patientenspezifischer Daten zu planen. Sie bekommen so durch geeignete 3D-Darstellungen einen besseren Überblick über die anatomischen und pathologischen Besonderheiten und können verschiedene Varianten des geplanten Eingriffs virtuell erproben. Klinische Untersuchungen belegen, dass die computerunterstützte Planung im Vergleich zur konventionellen Vorbereitung eines Eingriffs in einigen Fällen zu einer veränderten OP-Strategie führt (z.B. Notwendigkeit einer Gefäßrekonstruktion, Änderung der Resektionsführung) [3]. Für Leberlebendspenden wird sie standardmäßig eingesetzt [4]. Es sind keinerlei Systeme bekannt, die die computergestützte Planung chirurgischer Eingriffe an der Leber trainieren. Es existieren vorrangig fachübergreifende fallbasierte Lernsysteme für Medizinstudenten, die auf Diagnostik und medikamentöse Therapie ausgerichtet sind [5][6]. Trainingssysteme für die Chirurgie konzentrieren sich bisher eher auf die nicht patientenspezifische Chirurgesimulation mit deformierbaren Modellen [7] [8]. Weiterhin existieren webbasierte chirurgische Plattformen, die den Nutzern aufbereitetes Videomaterial [www.webop.de], anatomische Grundlagen, Experten-Vorträge, Informationen zu Operationstechniken und Instrumenten sowie Diskussionsmöglichkeiten bieten [www.websurg.com]. Da es zunehmend Systeme gibt, die die präoperativen Entscheidungen unterstützen und der Einsatz solcher Systeme nicht zur medizinischen Ausbildung gehört, ist ein Lernsystem für deren Nutzung wünschenswert.

2 Methoden

Der LiverSurgeryTrainer soll den Chirurgen das Training der notwendigen Arbeitsabläufe, der präoperativen Entscheidungen und der Interaktionstechniken zur Planung von operativen Eingriffen auf Schichtbilddaten und rekonstruierten 3D-Modellen ermöglichen. Das Training soll die Akzeptanz und die kompetente Nutzung einer computergestützten Planung erhöhen. Es soll die Planung des parenchymsparenden Operierens bei onkologischen Eingriffen trainiert werden

und die Operationstechnik der Leberlebendspenden einer breiteren Masse der Chirurgen vermittelt werden. Zur realitätsnahen Gestaltung des Trainings werden Trainingsszenarien verwendet, die auf realen Fällen basieren. Das problemorientierte Lernen findet auch in der klassischen Mediziner Ausbildung Anwendung. Auf diese Weise werden ganzheitliche Arbeitsabläufe trainiert, was den Lernenden die Übertragung der benötigten Fertigkeiten in den klinischen Alltagsprozess erleichtert. Die aktuelle Version des LiverSurgeryTrainers enthält dreizehn Trainingsfälle, davon sind elf Fälle onkologische Leberresektionen und zwei Leberlebendspenden. Der Stand der Fallbasis enthält alle wichtigen onkologischen Operationsstrategien. Die Anzahl spiegelt grob die Häufigkeit im klinischen Alltag wieder.

Nutzer des Systems: Die Anwender des Lernsystems sind angehende Fachärzte bzw. Assistenzärzte der Chirurgie mit der Subspezialisierung Abdominalchirurgie. Sie verfügen über umfangreiches Anatomiewissen und sie besitzen unterschiedliche Erfahrung im Umgang mit dem Computer bzw. bei der Arbeit mit Planungssystemen. Chirurgen sind eher mit der realen räumlichen Darstellung der Anatomie vertraut als mit den 2D-Schichten der Bildgebung oder mit 3D-Visualisierungen. Im Lernsystem sollte auf diese, teilweise unterschiedlichen, Wissensstände eingegangen werden.

Trainingsschritte: Der LiverSurgeryTrainer orientiert sich an den klinischen Abläufen der Therapieplanung für die Leber (siehe Abb. 1). Der Lernende wählt aus dem Spektrum der onkologischen Eingriffe oder Leberlebendspenden einen Fall für sein Training aus. In den ersten Schritten, der Diagnose, bekommt er Informationen zur Anamnese des Patienten, durchgeführten Untersuchungen und der Bildgebung präsentiert. Für die Therapieplanung steht das Einzeichnen virtueller Resektionsflächen zur Verfügung. Im Schritt der Analyse muss der Lernende eine seiner geplanten Therapievarianten auswählen und trifft damit seine Therapieentscheidung. Feedback zur Planung wird dem Lernenden in Form einer visuellen und textuellen Gegenüberstellung zu Expertenempfehlungen gegeben. Abschließend werden Informationen zum Verlauf des realen Eingriffs und zum postoperativen Verlauf präsentiert.

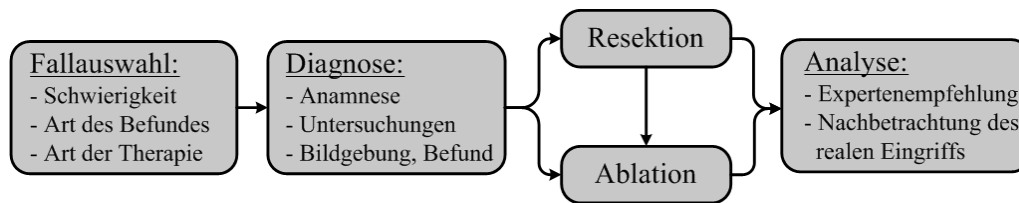


Abbildung 1: Der Ablauf der Trainingsschritte orientiert sich am klinischen Workflow.

Erstellung der Planung: Die Planung des Eingriffs ist grob in zwei Teile untergliedert: die Beurteilung der Gefäßanatomie und die Definition der Resektionsebene. Die Beurteilung der Anatomie der Gefäße spielt für die Therapieentscheidung eine wichtige Rolle. Die Gefäße weisen häufig anatomische Variationen auf, die vor allem bei der Planung einer Resektion eine große Rolle spielen. Für die Einschätzung der Gefäße stehen biphasische Schichtbilddaten zur Verfügung. Der Lernende wird durch drei Bewertungsschritte geleitet, in denen er die in diesem Fall vorliegende Anatomie charakterisieren soll. Für ungeübte Nutzer können als Unterstützung farbige Überlagerungen der Strukturen eingeblendet werden. In diesem Schritt können die Lernenden auf das 3D-Modell zugreifen. Standardmäßig erfolgt die Anatomiebewertung auf Basis der Schichtbilddaten, da dies momentan die etablierte Vorgehensweise darstellt.

Ebenso erfolgt die Planung des Eingriffs zunächst konventionell anhand der Schichtbilddaten. Die Ärzte sind diese Herangehensweise aus ihrer täglichen Praxis gewohnt. Das Vertrauen in die neue Art der Planung soll damit gestärkt werden. Die Nutzer werden erst nach der Durchführung der Planung anhand der 2D-Daten an die 3D-Planung herangeführt und können jederzeit zur 2D-Ansicht wechseln. Virtuelle Resektionsflächen können auf den einzelnen Schichten eingezeichnet werden (siehe Abb. 2, Bild links). Anschließend wird aus den Linien automatisch eine dreidimensionale Fläche generiert [9] und die Volumina für das Resektat und das verbleibende Leberparenchym berechnet. Ist der Benutzer mit diesem Ergebnis nicht zufrieden (z.B.: das im Patienten verbleibende Volumen ist zu gering, wichtige Gefäße wurden verletzt oder der Sicherheitsrand nicht eingehalten), kann er die definierte Resektionsfläche durch direkte Manipulation korrigieren. Im darauf folgenden Schritt wird das Planungsergebnis im 3D-Modell präsentiert.

Analyse der Planung: Es erfolgt eine quantitative Gegenüberstellung der Resektionen des Lernenden und des Experten in Form eines selbstregulierenden Feedbacks. Die Lernenden bekommen so die Möglichkeit, ihr Ergebnis mit denen der Experten zu vergleichen, zu bewerten und mögliche Verbesserungen einzuarbeiten. Der Vergleich erfolgt auf Basis einer synchronisierten Darstellung der 3D-Modelle (siehe Abb. 2, Bild rechts), der Schichtbilddaten sowie einer textuellen Gegenüberstellung. Die Bandbreite von anatomischen, pathologischen und klinischen Parametern ist so groß, dass es nicht trivial ist, die Resektionsfläche automatisch zu bewerten. Da im Einzelfall nur ein erfahrener Chirurg die Wichtigkeit dieser Parameter bestimmen kann, werden dem Lernenden Expertenvorschläge präsentiert, statt die Korrektheit seiner Planung direkt zu bewerten. Um die Vielfalt der Therapievarianten und ihre Kompromisse zu verdeutlichen, erscheint ferner die Präsentation mehrerer Expertenvorschläge sinnvoll. Die Experten kommentieren idealerweise ihre Therapieentscheidung und begründen ihr Vorgehen. Die Fallinhalte und Expertenempfehlungen wurden durch einen an der Fallerstellung nicht beteiligten Chirurgen validiert.

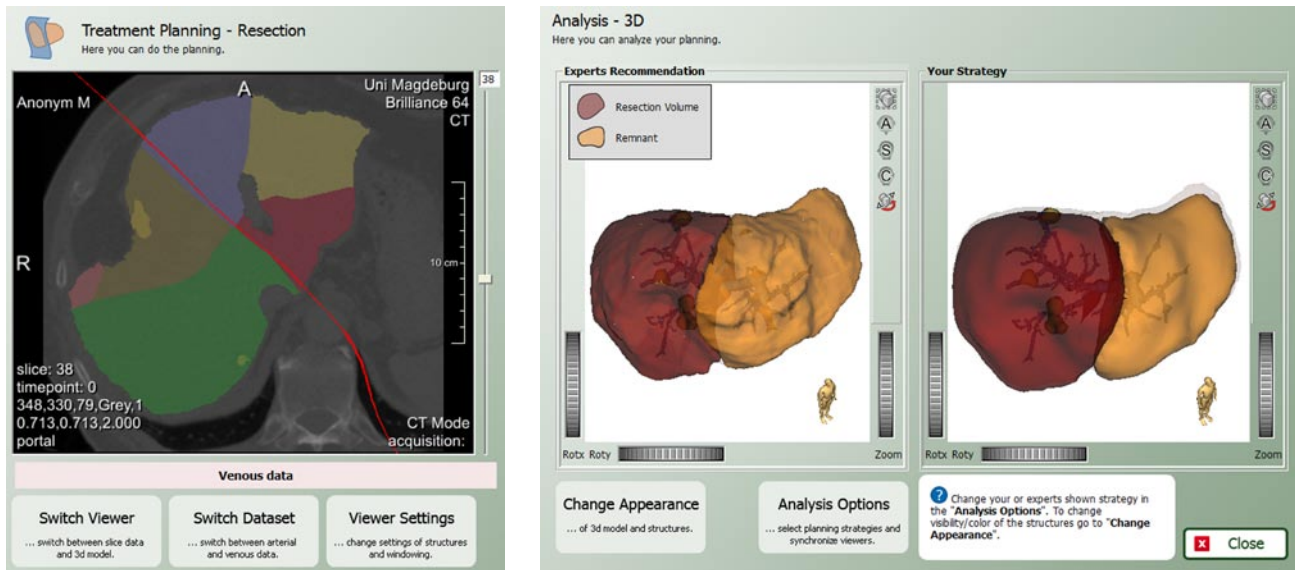


Abbildung 2 : Bild links: Einzeichnen der Resektionslinien auf den CT-Daten. Als Unterstützung können optional Leberstrukturen (hier die Territorien der Arterien) als farbige Überlagerungen eingeblendet werden. Bild rechts: Synchronisierte visuelle Gegenüberstellung der Planung eines Experten (links) und der des Lernenden (rechts).

Entwicklung & didaktische Konzeption: Die Entwicklung des Trainingssystems erfolgt auf Basis von Szenarien [10]. Szenarien sind eine semi-informelle Methode zur Spezifikation. Sie erleichtert durch die natürlichsprachliche Beschreibung von Ist- und Soll-Zuständen die Kommunikation zwischen den Entwicklern, beteiligten Ärzten und zukünftigen Nutzern. Soll-Szenarien beinhalten in der Anfangsphase erste Ideen für das Design, die Inhalte und das Layout des Systems. Sie beschreiben die Lerninhalte und Lernziele des Trainingssystems sowie den Trainings- bzw. Planungsablauf. Die Soll-Szenarien werden in einer schrittweisen Verfeinerung und Konkretisierung im Verlauf der Entwicklung bearbeitet. Auf diese Weise erfolgte aus Entwicklersicht eine intensive Auseinandersetzung mit der klinischen Vorgehensweise bei der Planung von Eingriffen an der Leber. Durch die Diskussionen der Szenarien mit den Medizinern wurden Sachverhalte und Schwierigkeiten vor der Umsetzung des Systems bewusst und konnten so berücksichtigt werden. Durch die Verwendung realer Patientendaten (Trainingsszenarien) werden ganzheitliche Arbeitsabläufe trainiert. Das erleichtert den Lernenden die Einordnung der benötigten Fertigkeiten in den Gesamtkontext und ihr Vorwissen.

Für die didaktische Konzeption des LiverSurgeryTrainers wurde auf das Vier-Komponenten-Instruktionsdesign-Modell (4C/ID-Modell) [11] zurückgegriffen. Dieses Modell wurde speziell für die Vermittlung komplexer Fertigkeiten entwickelt. Es sieht ein Training von Teilaufgaben vor, die bei der Ausführung einer Gesamtaufgabe sicherheitskritisch sein können. Es wird zwischen unterstützender und einsatzsynchroner Information unterschieden, die an unterschiedlichen Stellen während des Trainings präsentiert werden. Im Folgenden wird das Konzept der Umsetzung des 4C/ID-Modells im Trainingssystem beschrieben.

Die Einteilung der *Lernaufgaben* im LiverSurgeryTrainer erfolgt in Aufgabenklassen von einfach zu komplex. Die Komplexität der Aufgaben wird von der Anzahl der benötigten Teilfertigkeiten bestimmt (z.B. Lage und Form der Schnittfläche für die Resektion, Anzahl und Art der gefährdeten Strukturen). Zu Beginn werden die auszuführenden Arbeitsschritte beschrieben und es werden detaillierte Ausführungsanweisungen für die Interaktion geliefert (z.B. für das Einzeichnen oder Editieren der Resektionslinien). Bei fortgeschrittener Bearbeitung der Aufgaben einer Klasse bekommen die Lernenden nur noch komplexe Tipps. Die Aufgabe der computergestützten Planung von Eingriffen an der Leber enthält unter anderem die Teilaufgaben der Definition von Schnittflächen und die Interaktion mit den 3D-Modellen (z.B. Rotation, Zoomen, Vermessungen). Da die Ausführung dieser Teilaufgaben kritisch für eine Planung sind, sollten sie im Lernsystem im Rahmen einer *Teilaufgabenübung* separat trainiert werden. So soll eine bestmögliche Genauigkeit und eine Erhöhung der Geschwindigkeit bei der Ausführung dieser Aufgaben erreicht werden. Die Teilaufgaben werden zu Beginn der Aufgabenklasse, in der sie das erste Mal benötigt werden, angeboten. Sie folgen nach der Erläuterung eines einfachen Beispielfalls (z.B. Resektion eines peripheren kleinen Tumors), um den Zusammenhang zur Gesamtaufgabe herzustellen. Der Beispielfall kann durch ein kommentiertes Expertenvideo einer vollständigen Operationsplanung präsentiert werden. Es verdeutlicht dem Lernenden die zu trainierenden Teilaufgaben und wozu er sie später benötigt.

Unterstützende Informationen werden den Lernenden in Form relevanter Informationen zum Trainingsfall präsentiert. So werden beispielsweise Hinweise gegeben, worauf bei diesem speziellen Fall geachtet werden muss (z.B. Gefäßvariationen, Tumor nahe großer Gefäße). Beispiele von Experten und ihren Kommentaren bieten zusätzliche Informationen

zum medizinischen Hintergrund und Besonderheiten bei der computergestützten Planung und Interaktion (z.B. Resektion mit mehreren Ebenen). Weiterhin erhalten die Lernenden Rückmeldung über das Ergebnis ihrer Planung durch einen Vergleich ihres Ergebnisses und den Ergebnissen der Expertenempfehlungen. Im Rahmen der einsatzsynchrone Informationen bekommen die Lernenden in verschiedenen Hilfemodi Hinweise zur Ausführung mit unterschiedlichem Grad an Unterstützung. Es werden Regeln und das notwendige Wissen zur Ausführung der Regeln vermittelt.

3 Ergebnisse

Der LiverSurgeryTrainer wurde während des Entwicklungsprozesses mehreren Evaluierungen unterzogen. Eine formative Evaluierung im Jahr 2007 diente zur Identifikation von Schwachstellen im Ablauf und der Durchführung des Trainings. Es sollten außerdem Prioritäten für die weitere Entwicklung festgelegt werden. Die Testpersonen sollten im Anschluss an die Bearbeitung eines Trainingsfalls das Programm bewerten. Die Bewertung des Gesamtsystems wurde in die folgenden Bereiche untergliedert:

- Nutzung und Nutzen computergestützter Operationsplanung sowie des Trainings
- Allgemeine Bewertung des LiverSurgeryTrainers (Eignung, Bedienung)
- Verwendete Terminologie
- Rückmeldung, Wartezeiten und aufgetretene Fehler
- Erlernbarkeit
- Ideen für die weitere Entwicklung (freie Wünsche, simulierter intraoperativer Ultraschall, Annotationen)

Der Fragebogen wurde nicht durch Standardisierung, Eichung und Tests mit einer großen Stichprobe professionell konzipiert. Damit ist die Objektivität, Reliabilität und Validität der Ergebnisse nicht sichergestellt. Das Ziel der Evaluierung war aber auch keine statistische Auswertung, sondern die Ermittlung eines Trends, ob das Trainingssystem auf Interesse und Akzeptanz stößt und für Chirurgen einfach zu bedienen ist. Um die Ergebnisse dennoch so aussagekräftig wie möglich zu gestalten, wurde die Fragebogenentwicklung auf Basis des ISONorm 9241/10 Fragebogens durchgeführt. Außerdem orientierte sich die Gestaltung an einschlägigen Richtlinien. Bei den Testpersonen handelte es sich um dreizehn Viszeralchirurgen (elf männlich, zwei weiblich). Zehn Testpersonen besitzen mehr als fünf Jahre Erfahrung auf dem Gebiet der Chirurgie. Die Erfahrungen in der Leberchirurgie sind dagegen sehr heterogen.

Der LiverSurgeryTrainer wurde auf einer Skala (1 (sehr gut) - 7 (sehr schlecht)) allgemein mit gut bis befriedigend (2,6) bewertet und seine Eignung für das Training der Planung onkologischer Eingriffe sowie von Leberlebendspenden mit gut bestätigt (1,9). Damit stellte der aktuelle Stand des Systems eine gute Basis für die weitere Entwicklung dar. Die Bedienbarkeit wurde als befriedigend eingeschätzt (3,2). Hier liegt großes Potential für die Weiterentwicklung. Die Testpersonen haben eine stärkere Führung durch das Training und eine Benutzeroberfläche gefordert, bei der viele Informationen und Funktionen erst auf Anforderung eingeblendet werden [12]. Basierend auf den Ergebnissen der formativen Evaluierung wurde der LiverSurgeryTrainer einer grundlegenden Überarbeitung unterzogen.

Vor der abschließenden Evaluierung sollte eine Zwischenevaluierung der überarbeiteten Version vermeidbare Probleme bei der Bedienung identifizieren. Probleme sind aus Entwicklersicht unter Umständen nicht offensichtlich, beeinflussen oder behindern den Trainingsprozess aber stark. Die informelle Evaluierung wurde nicht unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt. Eine unmittelbare Diskussion von Problemen oder Unklarheiten zwischen der Testperson und den Entwicklern war ausdrücklich erwünscht. Alle identifizierten Schwachstellen wurden in den Diskussionen als plausibel befunden und ließen sich kurzfristig beheben.

Die summative Evaluierung wurde, um eine Vergleichbarkeit sicherzustellen, in Anlehnung an die formative Evaluierung geplant. Sie ist noch nicht abgeschlossen. Es soll untersucht werden, ob die Neugestaltung des Trainingssystems auf Basis der Ergebnisse der formativen Evaluierung zu einer besseren Bewertung und Akzeptanz führt. Es haben bisher neun Testpersonen teilgenommen. Unter ihnen befanden sich fünf Chirurgen mit mehrjähriger Chirurgieerfahrung und ein Radiologe. Unter Berücksichtigung der bisher sehr geringen Anzahl an Testpersonen, lässt sich eine positive Entwicklung erkennen. Für genauere und vor allem statistisch aussagekräftige Ergebnisse sind die Evaluierungen von weiteren Testpersonen notwendig. Die neue Version des LiverSurgeryTrainers (V 2.0) wurde auf einer Skala von 1 (sehr gut) - 7 (sehr schlecht) mit 1,8 (Mediziner 1,7) bewertet. Das stellt im Vergleich zur Vorgängerversion (V 1.0) eine deutliche Verbesserung dar. Verbesserungen gibt es ebenfalls im Bereich der Bedienung des Systems (V 1.0: 3,2; V 2.0: 2,6), der Rückmeldungen (V 1.0: 3,4; V 2.0: 2,2) und der Wartezeiten (V 1.0: 3,7; V 2.0: 3,3). Die alte sowie die neue Version wurden beim Aspekt der Erlernbarkeit nahezu gleich eingeschätzt (V 1.0: 2,5; V 2.0: 2,7). Die Bewertung des zeitlichen Lernaufwands zeigt ebenfalls keine großen Abweichungen (V 1.0: 3,3; V 2.0: 3,4). Zwei Testpersonen haben bereits an der formativen Evaluierung der ersten Version des Trainingssystems teilgenommen und bestätigten ohne Einschränkung, dass die zweite Version deutlich verbessert wurde. Sie bewerteten die Verbesserung der zweiten Version in allen zu vergleichenden Punkten (Wartezeiten, Bedienung und Erlernbarkeit) jeweils mit der höchsten Note.

4 Diskussion

Die langjährige Entwicklung des LiverSurgeryTrainers im Rahmen des SOMIT-FUSION-Projektes ist mittlerweile abgeschlossen. Dieser Beitrag dient dazu, die Erfahrungen und Ergebnisse zusammenzufassen. Das System steht für den praktischen Einsatz zur Verfügung. Eine Evaluierung des Lernerfolgs steht jedoch noch aus. Im Konzept war außerdem noch die Integration interaktiver Module vorgesehen. Auf Basis vereinfachter 3D-Modelle könnte der Lernende z.B. die Versorgungsgebiete der Leber oder den Einfluss unterschiedlicher Sicherheitsränder auf das zu resezierende Leberparenchym interaktiv erkunden. Die Vermittlung neuartiger Techniken, beispielsweise der Einsatz eines Navigationssystems zur Unterstützung des Eingriffs, sollte ebenfalls Gegenstand zukünftiger Arbeiten sein. Für einen Einsatz des LiverSurgeryTrainers im Rahmen chirurgischer Kurse ist es notwendig, Strategien zur Eingliederung des Systems in die konventionellen Lehrpläne zu entwickeln. Eine qualitative Bewertung bzw. die Definition der Kompetenz, die der Lernende durch das Training erreichen soll, sind bisher nicht berücksichtigt. Dafür müssten für den Lernerfolg relevante Parameter bestimmt, Lernkurven ermittelt und ausgewertet werden. Eine Protokollierung der Lerneraktionen im Bearbeitungsprozess und der Vergleich mit definierten Richtlinien zur Bearbeitung der notwendigen Schritte können möglicherweise dabei helfen, Ursachen für fehlerhafte Planungsergebnisse zu identifizieren. Zukünftige Arbeiten sollen sich außerdem mit den Möglichkeiten des webbasierten chirurgischen Trainings, unter der Nutzung von Web 2.0 Techniken, befassen (surgerytube.liversurgerytrainer.de).

5 Danksagung

Diese Arbeit wurde vom BMBF im Rahmen des SOMIT-FUSION Projektes gefördert (FK 01|BE 03B, Laufzeit 05/05 bis 01/11). Die weiteren Entwicklungen werden im Rahmen des SurgeryTube-Projektes durchgeführt (FK 01PF08003E). Wir bedanken uns bei MeVis Research für die Bereitstellung von MeVisLab.

6 Referenzen

- [1] B. Preim, H. Bourquain, D. Selle, K.J. Oldhafer, H.O. Peitgen, Resection Proposals for Oncologic Liver Surgery based on Vascular Territories, In: Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS), 2002
- [2] H.P. Meinzer, M. Thorn, C.E. Cárdenas, Computerized planning of liver surgery - an overview, In: Computers & Graphics 26, 2002
- [3] H. Lang, A. Radtke, M. Hindennach, T. Schroeder, N. Frühauf, M. Malagó, H. Bourquain, H. Peitgen, K. Oldhafer, C. Broelsch, Impact of Virtual Tumor Resection and Computer-Assisted Risk Analysis on Operation Planning and Intraoperative Strategy in Major Hepatic Resection, In: Archives of Surgery, 2005
- [4] A. Radtke, M. Bockhorn, T. Schroeder, H. Lang, A. Paul, S. Nadalin, F. Saner, A. Schenk, C.E. Broelsch, M. Malagó, Computer-gestützte Operationsplanung bei Leberlebendspenden, In: Zentralblatt für Chirurgie, 2006
- [5] M.R. Fischer, Problemorientiertes Lernen in der Medizin mit dem CASUS/ProMediWeb-Lernsystem, In: Lernmodelle der Zukunft am Beispiel der Medizin, 2001
- [6] M. Haag, Plattformunabhängige, adaptive Lehr-/Lernsysteme für die medizinische Aus- und Weiterbildung, Medizinischen Fakultät der Ruprecht-Karls- Universität Heidelberg, Dissertation, 1998
- [7] B. Pflesser, R. Leuwer, U. Tiede, K.H. Höhne, Planning and rehearsal of surgical interventions in the volume model. In: Studies in health technology and informatics 70, 2000
- [8] Sionbionox, Lap Mentor Product Brochure. <http://www.sionbionox.com>. Version: November 2009
- [9] O. Konrad-Verse, B. Preim, A. Littmann: Virtual Resection with a Deformable Cutting plane, In: Simulation and Visualization (SimVis), 2004
- [10] D. Benyon, S. Turner, P. Turner, Designing Interactive Systems: People, Activities, Contexts, Technologies, Addison Wesley, 2005
- [11] J.J.G. van Merriënboer, R.E. Clark, M.B.M. de Crook, Blueprints for Complex Learning: The 4C/ID-Model, In: Educational Technology Research and Development 50, 2002
- [12] J. Cordes, K. Mühler, K.J. Oldhafer, G. Stavrou, C. Hillert, B. Preim, Evaluation of a Training System of the Computer-based Planning of Liver Surgery, In: CURAC, 2007