

Szenariobasierte Entwicklung eines chirurgischen Trainingssystems

J. Cordes¹, K. Mühler¹, K. J. Oldhafer², G. Stavrou², C. Hillert³, B. Preim¹

¹Otto-von-Guericke Universität, Institut für Simulation und Graphik, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg

²Allgemeines Krankenhaus Celle, Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Siemensplatz 4, 29223 Celle

³Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Klinik und Poliklinik für Hepatobiliäre Chirurgie und Viszerale Transplantation, Martinistraße 52, 20246 Hamburg

Zusammenfassung: Wir präsentieren die szenariobasierte Konzeption eines fallbasierten chirurgischen Lernsystems. Mit diesem System sollen präoperative Entscheidungen bei der Behandlung von Lebertumoren bzw. bei Leberlebenspenden unter Nutzung von radiologischen Bilddaten, abgeleiteten Bildanalyseergebnissen und 3D-Visualisierungen trainiert werden. Da es sich um ein chirurgisches Trainingssystem handelt, bei dem eine enge Zusammenarbeit mit chirurgischen Experten essentiell ist, wurde die informelle Spezifikationsmethode der Szenarien genutzt, um mit den Anwendern effizient die Anforderungen und Nutzungskontexte zu eruieren. Die Diskussion von Szenarien hat sich insbesondere für das Design der Trainingsschritte, als auch für die Auswahl einer repräsentativen Menge von Fällen und die Definition der für jeden Fall benötigten relevanten Informationen als hilfreich erwiesen. Die Konzeption ist modellhaft für ähnliche chirurgische Lernsysteme.

1. Einführung

Die chirurgische Aus- und Weiterbildung ist immer noch stark von den zur Verfügung stehenden Experten und dem örtlich vorhandenen Fallspektrum abhängig. Neben dem Training von Operations- und Interventionstechniken spielt die Auswahl der optimalen Behandlungsstrategie eine wichtige Rolle. Dabei geht es zum Beispiel darum, die Operabilität von Patienten einzuschätzen, das Ausmaß einer Resektion festzulegen oder die Notwendigkeit einer Gefäßrekonstruktion zu beurteilen. Bisher ist die Wahl der geeigneten und effektivsten Therapie anhand der 2D Schichtdaten die etablierte Vorgehensweise. Dies ist jedoch schwierig, weil die räumlichen Verhältnisse, insbesondere die Lokalisation eines Tumors in Relation zu komplexen Gefäßbäumen, schwer einschätzbar sind. Aus diesem Grund wurden und werden computergestützte Planungssysteme entwickelt. Speziell für die Planung von Eingriffen an der Leber werden dafür aus den Schichtdaten 3D Modelle der Anatomie der Leber, der Lebergefäße und pathologischen Strukturen dargestellt [BSL02]. Anhand dieser Modelle können Ein-

griffe simuliert und im Vorfeld eingeschätzt werden. Da die Nutzung computergestützter Systeme zur Planung von Eingriffen nicht zur medizinischen Ausbildung gehört, sind Trainingssysteme für den Einsatz dieser Systeme essentiell. Eine Herausforderung bei der Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme stellt deren Konzeption und Design dar. Die zukünftigen Anwender sollten direkt in den Designprozess einbezogen werden, um zu gewährleisten, dass das System ihren Anforderungen und ihren Fähigkeiten entspricht. Eine aktive Beteiligung der Anwender erfordert Spezifikationsmethoden, die nicht nur für den Dialog unter den Entwicklern geeignet sind, sondern von Anwendern möglichst intuitiv verstanden werden. Formale Spezifikationsmethoden, wie Varianten von Zustandsübergangsdiagrammen, Petrinetzen oder ähnliche, sind dafür nicht geeignet. Ausgehend von diesen Beobachtungen wurden szenariobasierte Entwicklungen von Rosson und Carroll [C00][RC02] vorgeschlagen. Szenarien sind informelle natürlichsprachige Beschreibungen von Nutzungskontexten und Bedienhandlungen und unterstützen durchgängig alle Phasen der Entwicklung eines Systems.

Wir beschreiben die szenariobasierte Konzeption eines Trainingssystems beispielhaft anhand des Trainings der computergestützten Planung von Tumorektomien und Leberlebendspenden (LiverSurgeryTrainer). Bei dieser Konzeption wurde für wichtige Anwendungsfälle der Operationsplanung beider Gebiete das Vorgehen aus klinischer Sicht, mit allen notwendigen Bearbeitungsschritten, Gedanken und Schlussfolgerungen des Arztes, formuliert.

Der erste Ansatz zur Konzeption und Entwicklung eines Prototyps des LiverSurgeryTrainers [CMP06] basierte auf der im Abschnitt 5 beschriebenen Analyse der zu trainierenden klinischen Abläufe und einem didaktischen Modell. Für wichtige Entscheidungen, beispielsweise die Auswahl repräsentativer Fälle, erwies sich diese Grundlage als nicht ausreichend. Die Kommunikation mit den Anwendern erwies sich als schwierig, weil die formellen Spezifikationsmethoden für Softwaresysteme keine gemeinsame Kommunikationsbasis darstellten. Aus diesem Grund wurde zusätzlich auf die szenariobasierte Spezifikation für die Entwicklung des LiverSurgeryTrainers zurückgegriffen, die den Fokus dieses Beitrages bildet und im Abschnitt 6 beschrieben wird.

2. Computerunterstützung in der medizinischen Ausbildung

Die Computerunterstützung in der medizinischen Ausbildung hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Bisher wurden allerdings hauptsächlich Browsing- und Präsentationssysteme, wie z.B.: VOXELMAN [HPP00], ANATOMYBROWSER [GKH99] und DIGITALANATOMIST [BBSR97] für die Ausbildung von Medizinstudenten entwickelt.

Speziell die chirurgische Ausbildung umfasst eine gesonderte Lehre der menschlichen Anatomie, insbesondere liegt der Fokus auf der Betrachtung von

verschiedenen anatomischen Variationen und der unterschiedlichen Lokalisation und Ausdehnung von krankhaften Veränderungen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist das Erkennen und Trainieren von riskanten Situationen und die Reaktion bei Komplikationen.

Bisher sind keine fallbasierten Systeme bekannt, die speziell die ärztliche Weiterbildung unterstützen. Trainingssysteme in diesem Bereich beschränken sich hauptsächlich auf haptische Simulatoren, in der Mehrzahl für laparoskopische Eingriffe, die darauf spezialisiert sind, Gewebe realitätsnah abzubilden und Kollisionen der virtuellen Instrumente mit den Geweben darzustellen. Es existieren Simulatoren, mit denen laparoskopische Eingriffe (LAP MENTOR [ASJ06]), endoskopische Operationen im HNO-Bereich (NES [BMV99]) und Operationen am Felsenbein (TEMPOSURG [PLTH00]) trainiert werden können.

Das Potenzial einer derartigen Computerunterstützung ist unbestritten. Es wird dabei eine geringere Abhängigkeit von chirurgischen Experten und interessanten Fällen sowie eine Kostenersparnis angestrebt. Allerdings wird dieses Potenzial noch nicht ausgeschöpft, weil die Simulationen die klinischen Anforderungen, zum Beispiel das Training von Komplikationen, nicht annähernd erfüllen.

3. Szenariobasierte Entwicklung von Lernsystemen

Die szenariobasierte Entwicklung von Systemen wurde von Rosson und Carroll eingeführt. Sie bietet die Möglichkeit, Softwaresysteme informell zu spezifizieren und damit vor allem die konstruktive Kommunikation mit zukünftigen Nutzern und deren enge Einbindung in den Designprozess zu ermöglichen. Die folgende Beschreibung szenariobasierter Entwicklung von Systemen stützt sich auf die Arbeiten [C00][RC02].

Szenarien unterstützen eine vielfältige Betrachtung eines Problems aus unterschiedlichen Blickwinkeln und erlauben eine direkte Interaktion mit konkreten Situationen. Sie beschreiben für eine Vielzahl von Nutzungsmöglichkeiten des Systems den Hintergrund der Anwendung, die handelnde(n) Person(en) und ihre Ziele, sowie die Aktionen und Schlussfolgerungen der handelnden Personen und die Zustände, mit denen sie konfrontiert werden. Dies ermöglicht ein auf die Anwender konzentriertes Design. Der Fokus liegt auf den Aktivitäten, Fähigkeiten, Zielen und Bedürfnissen der zukünftigen Benutzer.

Die Szenarien, die zu Beginn des Designprozesses erstellt werden, beschreiben typischerweise nur grob, welche Aufgaben mit dem System ausgeführt werden können und gehen nicht auf die konkrete Funktionalität und Art und Weise der Interaktionen ein. So wird zum Beispiel nur erwähnt, dass für eine Anfrage relevante Informationen hervorgehoben werden, ohne festzulegen, wie die Relevanz bestimmt wird und welche Hervorhebungstechniken zum Einsatz kommen. Der Detailgrad der Szenarien wird im weiteren Prozess erhöht. Ein sehr hoher Grad an Genauigkeit der Beschreibung ist allerdings nur für Szenarien notwendig, die

die Hauptfunktionalität oder kritische Bediensituationen bzw. Situationen, in denen innovative Lösungen benötigt werden, beinhalten.

Die enge Einbindung zukünftiger Nutzer bei dieser Methode und der Fokus auf die Benutzung eines Systems und nicht auf dessen Funktionalität verhindert beispielsweise die Bereitstellung nicht benötigter Funktionalitäten. Bei formalen Spezifikationsmethoden wird oftmals nicht ausreichend auf die Bedürfnisse und Anforderungen der zukünftigen Benutzer eines Systems geachtet, was den Anwendern später die Arbeit mit dem System erschwert.

Szenarien dienen der Anforderungsanalyse, zum Entwurf neuer Designs, zur Leitung des Prototyping-Prozesses und der Implementierung. Sie bieten ebenso eine sehr gute Basis für eine Designbegutachtung oder formative Evaluierung. Mit ihrer Hilfe kann überprüft werden, ob das Design erfolgreich umgesetzt wurde und ob die geforderte Funktionalität vorhanden ist.

Abgrenzung zu Use Cases. In der Softwareentwicklung, speziell in der objektorientierten Entwicklung, spielen Use Cases eine zentrale Rolle bei der Spezifikation. Diese sind grob verwandt zu Szenarien. Der wesentliche Unterschied liegt darin, dass Use Cases allgemeingültiger sind. Sie beinhalten eine komplette Beschreibung der gesamten Funktionalität eines Systems und somit eine Spezifikation aller möglichen Interaktionen und der vielfältigen Reaktionen zwischen den Benutzern und der Software. Im Gegensatz zu Szenarien beinhalten sie keine Nutzungskontexte, Gedanken, Ziele und Pläne des Benutzers. Szenarien hingegen beschreiben die vorhandene Funktionalität im Rahmen einer möglichen Anwendung des Systems und stellen doch keine funktionelle Spezifikation dar [RC02].

4. Planung und Training der interventionellen Behandlung von Lebertumoren und Leberlebendspenden

Unser Ziel ist die Entwicklung eines fallbasierten chirurgischen Trainingssystems. Mit diesem System soll die computergestützte Planung für die Behandlung von Lebertumoren (die im Folgenden im Fokus steht) und zur Leberlebendspende trainiert werden. Die Anwender des Trainingssystems sind Fachärzte, angehende Fachärzte bzw. Assistenzärzte der Chirurgie mit der Subspezialisierung Abdominalchirurgie. Sie verfügen über umfangreiches Anatomiewissen, besitzen aber heterogene Erfahrungen im Bereich der Therapieentscheidung und -durchführung sowie im Umgang mit dem Computer bzw. bei der Arbeit mit Planungssystemen.

Interventionelle Behandlung von Lebertumoren. Für die interventionelle Behandlung von Lebertumoren existiert eine Vielzahl an Möglichkeiten: Tumorbildungen (Zerstörung des Tumorgewebes, beispielsweise durch Einbringen

von Hitze in den Tumor mit Hilfe nadelartiger Radiofrequenzsonden, einem Applikator), laparoskopische Eingriffe (Operation durch einen kleinen Schnitt in der Bauchdecke), konventionelle Operationen sowie Kombinationseingriffe. Zu Operationen zählen standardisierte Eingriffe, wie die Entfernung von Leberhälften, Leberlappen und -segmenten, sowie spezielle Eingriffe, bei denen ausgehend von einem Tumor und einem angestrebten Sicherheitsrand um den Tumor ein Resektionsgebiet definiert wird. Die Auswirkungen auf das verbleibende Leberparenchym und damit eng verknüpft auf die Gefäßversorgung und -entsorgung stehen im Vordergrund bei der Therapieentscheidung. Außerdem stellt die große anatomische Vielfalt der Lagebeziehungen und krankhaften Veränderungen der Leber eine Schwierigkeit dar.

Leberlebendspenden. Aufgrund des Mangels an Spenderorganen für die Lebertransplantation wurde in den letzten Jahren die Leberlebendspende etabliert. Dabei wird dem Spender die linke oder die rechte Leberhälfte entfernt und dem Empfänger sofort transplantiert. Im Gegensatz zu einer Tumorbehandlung durch eine Resektion muss die Funktionsfähigkeit beider Teile der Leber erhalten werden. Das erfordert eine genaue Kenntnis der Gefäßanatomie und patientenindividueller Anomalien sowie eine sorgfältige Planung des Eingriffs. Neben Laboranalysen und speziellen bildgebenden Untersuchungen steht bei der Planung die Volumenverteilung und Anatomie der Lebervenen im Vordergrund. Aufgrund der engen Einschlusskriterien können nur ca. 20 Prozent der potentiellen Spender alle Untersuchungen erfolgreich abschließen, so dass eine Lebendspende realisiert werden kann [TMB99].

Computergestützte Therapieplanung. Seit ca. fünf Jahren ist die computergestützte Operationsplanung für Eingriffe an der Leber so weit fortgeschritten, dass sie klinisch eingesetzt wird (z.B.: [THS04], [BSL02], [SDM00]). Diese Systeme ermöglichen den Chirurgen, einen therapeutischen Eingriff präoperativ an den patientenspezifischen Daten zu planen. Auf diesem Weg bekommen sie durch geeignete 3D Darstellungen einen besseren Überblick über anatomische und pathologische Besonderheiten des Patienten und können verschiedene Varianten des geplanten Eingriffs virtuell erproben.

Training der OP-Planung. Um die Chirurgen an die computergestützte Operationsplanung heranzuführen, ist die Entwicklung eines Lernsystems wesentlich, das ihnen das Training der notwendigen Arbeitsabläufe, präoperative Entscheidungen und Interaktionstechniken zur Planung von Eingriffen (z.B.: Einzeichnen von virtuellen chirurgischen Schnittflächen wie in Abb.2 und Definition der Lage von virtuellen Applikatoren) auf 2D Schichtbilddaten und 3D rekonstruierten Modellen ermöglicht. Das Training mit dem Lernsystem soll die Akzeptanz einer computergestützten Planung erhöhen, die Kompetenzen verbessern und damit das Risiko der operativen und minimalinvasiven Eingriffe herabsetzen.

5. Die Konzeption des LiverSurgeryTrainers

Die Konzeption des LiverSurgeryTrainers für die computergestützte Operationsplanung der Leber basiert auf folgenden Säulen:

1. Analyse der zu trainierenden klinischen Abläufe
2. Instruktionsmodell
3. Szenariobasierte Spezifikation

Die Konzeption mittels des im Folgenden beschriebenen Instruktionsmodells und die Analyse der zu trainierenden klinischen Abläufe haben den Entwurf und die Umsetzung nicht zufrieden stellend ermöglicht. Es sind beispielsweise wiederholt Unklarheiten bezüglich des klinischen Ablaufs, der umfangreichen zu beachtenden Parameter und der resultierenden Entscheidungen und Herangehensweise bei einer Therapieplanung aufgetreten. Aus diesem Grund wurde zusätzlich auf die szenariobasierte Spezifikation für die Entwicklung des LiverSurgeryTrainers zurückgegriffen, die den Fokus dieses Beitrages bildet. Sie ermöglichte eine detaillierte Diskussion möglicher Nutzungskontexte sowie Abläufe bei der Therapieplanung und die daraus hervorgehende benötigte Funktionalität für das Training.

Instruktionsmodell. Die didaktische Konzeption des Systems, die in [CMP06] ausführlicher beschrieben wird, orientiert sich maßgeblich an dem von Merriënboer et al. vorgestellten Vier-Komponenten-Instruktionsdesign-Modell (4C/ID-Modell) [MCC02]. Das 4C/ID-Modell eignet sich für die Konzeption von Systemen für chirurgisches Training, weil es eine Übung von Teilaufgaben, die bei der Ausführung sicherheitskritisch sein können, erlaubt. Ebenso ist die Ordnung der Trainingsfälle in einfache und immer komplexere Klassen sowie die nachlassende Unterstützung für fallbasierte Lernsysteme geeignet. Günstig ist außerdem die Unterscheidung in unterstützende und einsatzsynchrone Informationen, die dem Lernenden zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Lernprozess präsentiert werden.

Ähnlich wie bei Flugsimulatoren werden die Fertigkeiten, vor allem in risikoreichen Situationen, vor dem realen Einsatz so lange trainiert, bis die notwendige Kompetenz bei der Ausführung erreicht ist. Die Bewertung der Kompetenz, die der Lernende durch das Training erreichen soll, ist im ersten Prototypen des LiverSurgeryTrainers nicht berücksichtigt. Diese Art der Bewertung des Lernerfolgs bedarf ausführlicher Erfahrungen der Mediziner mit dem Training, die in der geplanten ersten Evaluierung gesammelt werden sollen.

Zu trainierende klinische Abläufe. Der LiverSurgeryTrainer orientiert sich an den klinischen Abläufen der Therapieplanung für die Leber. Für das Training computergestützter Planung ergeben sich folgende Schritte:

Der Lernende wählt aus dem Spektrum der onkologischen Eingriffe oder Leberlebendspenden einen Fall für sein Training aus oder lässt sich einen Fall zufällig zuweisen. Die Trainingsdatensätze sind untergliedert nach dem Grad der Schwierigkeit, der Art des Befundes und der Art der Therapie. In den ersten Schritten zur Bearbeitung eines Falls, der Diagnose, bekommt der Nutzer Informationen zur Anamnese des Patienten, durchgeführten Untersuchungen und der Bildgebung präsentiert.

Für die Therapieplanung onkologischer Eingriffe steht dem Lernenden das Einzeichnen virtueller Resektionsfläche auf den 2D Daten (siehe Abb.2) oder am 3D Modell oder die Definition der Lage virtueller Applikatorsonden (auf die in diesem Beitrag nicht näher eingegangen wird) zur Verfügung.

Im Schritt der Analyse muss der Lernende eine Therapievariante auswählen und trifft damit seine Therapieentscheidung. Um Feedback zur Planung zu geben, wird das Planungsergebnis einer Expertenempfehlung visuell und textuell gegenüber gestellt. Eine direkte Bewertung des Lernerfolgs ist in der aktuellen Version noch nicht umgesetzt.

Abschließend werden Informationen zum Verlauf des realen Eingriffs (OP-Bericht, Videos, Fotos) und zum postoperativen Verlauf präsentiert.

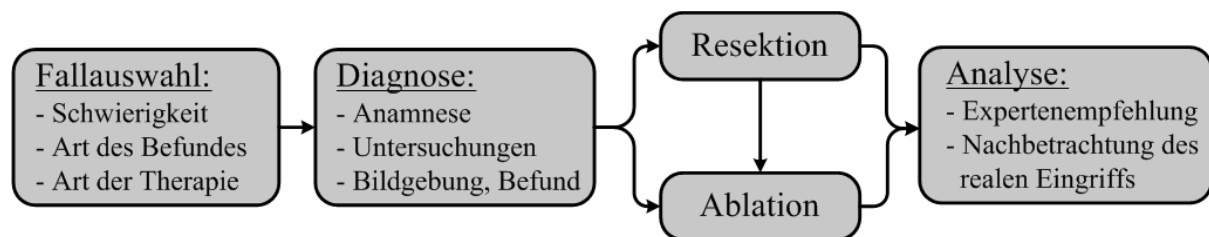


Abb.1: Schematischer Workflow für das Training mit dem LiverSurgeryTrainer

6. Szenarien für den LiverSurgeryTrainer

Es wurden jeweils für die zu trainierenden Teilgebiete der onkologischen Interventionen und der Leberlebendspenden Anwendungsszenarien erstellt. Der Fokus lag bei der Definition auf Anwendungsszenarien unterschiedlicher Schwierigkeit des Trainings. Für die onkologischen Fälle wurden exemplarisch die „Resektion eines Tumors in peripherer Lage“ (siehe Beispielszenario unten) und die „Resektion von zwei Tumoren in unterschiedlichen Leberlappen“ und für die Leberlebendspenden die „Transplantation der Segmente II und III auf ein Kind“ und die „Transplantation des linken Leberlappens“ mit hohem Detailgrad beschrieben. Weitere Anwendungsszenarien wurden skizziert, um Abweichungen zu verdeutlichen.

Die Szenarien basieren auf detaillierten Diskussionen mit chirurgischen Experten. Initial wurden Vorschläge zu möglichen Szenarien erarbeitet, die nach einer

mündlichen Präsentation mit den Chirurgen diskutiert wurden. Darauf aufbauend erfolgte eine Verfeinerung und Überarbeitung der Vorschläge. Im Folgenden wird ein Anwendungsszenario der onkologischen Eingriffe beispielhaft dargestellt. Im darauf folgenden Abschnitt werden die Konsequenzen der Szenarien auf das Design des LiversurgeryTrainers beschrieben.

Beispielszenario „Resektion eines Tumors in peripherer Lage“.

„Ein Facharzt möchte für seine Subspezialisierung Abdominalchirurgie die Vorgehensweise für die Planung onkologischer Eingriffe an der Leber vertiefen. Weil er sich mit diesem Gebiet lange nicht intensiver beschäftigt hat, wählt er im LiverSurgeryTrainer zunächst einen einfachen Fall: die Resektion eines Tumors in peripherer Lage. Er macht sich mit den Patientendaten und der Anamnese des Patienten vertraut. Er erfährt, dass der Patient an mehreren Tumorerkrankungen litt, die chirurgisch und durch Chemotherapien behandelt wurden. Im nächsten Bearbeitungsschritt des Planungsworkflows schaut sich der Arzt die Ergebnisse der präoperativ durchgeführten Untersuchungen des Patienten an. Auf den Sonographiebildern erkennt er, dass es sich bei diesem Fall um einen Tumor des rechten Leberlappens handelt. Seine Vermutung kann er im folgenden Schritt durch die Exploration des CT-Datensatzes bestätigen. Im Anschluss macht er sich mit den CT-Daten vertraut und achtet dabei besonders auf die Anatomie der Gefäße, die in vier Kategorien (Portalvene, Lebervene, Leberarterie, Gallengänge) gegliedert sind. Weil er sich bei der Bewertung der Anatomie etwas unsicher ist, blendet er sich in diesem Schritt die Gefäße als Unterstützung als farbige Überlagerung in den zweidimensionalen Schichten hinzu (siehe Abb.3). Er findet keine außergewöhnlichen anatomischen Variationen.

Da er nun alle notwendigen Informationen bekommen hat, beginnt er mit der Planung des Eingriffs. Er informiert sich in der Hilfe, wie eine Resektionsfläche definiert wird. Weil die Hilfeschnitte simultan zur Planung angezeigt werden, kann er parallel die nächsten Schritte durchlesen und diese dann ausführen.

Anschließend beginnt er die Planung und zeichnet die Lage der Resektionsfläche mit Hilfe einiger Linien in den 2D Schichten ein. Aus diesen Linien wird eine Fläche generiert. Er definiert den zu resezierenden Teil der Leber und bekommt anschließend die Volumina beider Leberteile angezeigt. Das verbleibende Volumen scheint im Hinblick auf eine schonende Operation noch optimierbar zu sein, deshalb deformiert er die Ebene leicht, um mehr Leberparenchym zu erhalten. Nun meint er mit einem Sicherheitsrand von 10mm um den Tumor das Volumen des Resektats so klein wie möglich gewählt zu haben und speichert diese Therapie. Im folgenden Schritt bekommt er seine Planung am 3D patientenindividuellen Modell der Leber und der Gefäßsysteme angezeigt (siehe Abb.2) und überprüft nun genauer, ob die Resektionsfläche die Gefäße der Leber an vertretbaren Stellen schneidet. Um den Zusammenhang zwischen der Planung in 2D und 3D besser erkennen zu können, blendet er gleichzeitig das 3D Modell und die Schichtdarstellung ein (siehe Abb.3).

Der Arzt hat seine Planung abgeschlossen und möchte im folgenden Schritt sehen, wie der Experte diesen Fall geplant hat. In der 3D Analyse erkennt er visuell, dass seine Planung sehr ähnlich zur Expertenempfehlung ist. Dieser Eindruck bestätigt sich auch in der textuellen Analyse, in der die Volumina des Resektats und verbleibenden Parenchyms gegenüber gestellt werden. Dort sieht er auch im Vergleich zur Expertenempfehlung, dass er die Anatomie der Gefäße richtig eingeschätzt hat.

Im letzten Schritt des Planungsworkflows informiert sich der Arzt abschließend im OP-Protokoll und den OP-Videos über den Verlauf der real durchgeführten Operation. Die dargestellten Informationen zur histologischen Untersuchung des Resektats bestätigen seine Tumordiagnose.“

7. Umsetzung der Szenarien

Der Inhalt der entwickelten Szenarien resultierte in folgenden Designentscheidungen für den LiverSurgeryTrainer:

Trainingsschritte zur Diagnose. Um dem Workflow einer Therapieplanung im klinischen Alltag zu entsprechen, ist die Präsentation von Informationen über den Patienten, zu seiner Anamnese und den durchgeführten Untersuchungen zur Erstellung einer Diagnose notwendig. Diese Informationen werden dem Anwender im LiverSurgeryTrainer in den ersten drei Schritten zur Verfügung gestellt. Im Schritt „Anamnese“ werden neben den Patientendaten (Name, Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht) und einem Foto, das den Wiedererkennungswert eines Falls unterstützen soll, Informationen über den Gesundheitszustand und Behandlungen des Patienten (ggf. seiner Familienangehörigen) in der Vergangenheit geboten. Danach folgen Informationen zu durchgeführten Untersuchungen, die für den zu planenden Eingriff relevant sind. Im dritten Schritt zur Diagnose werden die Schichtbilddaten (in den meisten Fällen CT) präsentiert, mit deren Hilfe der Eingriff geplant werden soll. Um sich mit der patientenindividuellen Anatomie vertraut zu machen, kann der Schichtbilddatensatz interaktiv exploriert werden. Der Benutzer kann durch die einzelnen Schichten scrollen und das Grauwertfenster der Daten individuell einstellen.

Trainingschritt Beurteilung der Gefäßanatomie. Bevor mit der Planung des Eingriffs begonnen wird, ist es notwendig, die Anomalien der Gefäße einzuschätzen. Diese Beurteilung hat einen signifikanten Einfluss auf die Therapieplanung bzw. sogar die Durchführbarkeit einer Operation. Dem Benutzer stehen dafür die Schichtbilddaten zur Verfügung. Er wird durch drei Schritte der Beurteilung geleitet, in denen er aus einer Liste von anatomischen Variationen der Venen, Arterien und Gallengänge die in diesem Fall vorliegende Anatomie charakterisieren soll.

Um Ärzte zu unterstützen, die nur wenig Erfahrungen im Umgang und der Interpretation mit den Schichtbilddaten besitzen, können die Gefäßsysteme in den Schichten farblich hervorgehoben werden.

Trainingschritt Planung. Die Planung des Eingriffs erfolgt 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. Sie werden erst nach der Durchführung der Planung an den 2D Daten an die 3D Planung herangeführt und können jederzeit zur 2D Ansicht wechseln bzw. die parallele Anzeige der Schichtbilddaten und des 3D Modells wählen. Dabei wird jeweils eine Ansicht im Arbeitsbereich angezeigt und die andere in einem kleinen Fenster in der Leiste mit den Bedienelementen.

Erfahrene Benutzer haben die Möglichkeit die Planung direkt am 3D Modell durchzuführen.

Virtuelle Resektionsflächen können auf den einzelnen Schichten eingezeichnet werden, wobei in ca. jeder zehnten Schicht der Verlauf der Resektion gezeichnet werden sollte, damit die Fläche möglichst genau berechnet werden kann und später keine größeren Optimierungen notwendig sind. Die Bestimmung der Lage der Resektionsfläche kann ebenfalls am 3D Modell der Leber erfolgen. Dazu wird der Verlauf auf der Leberoberfläche durch eine Linie markiert. Anschließend wird automatisch aus den Linien die Fläche generiert. Nach der Bestimmung des Resektats durch das Setzen eines Markers, werden die Volumina für das Resektat und das im Patienten verbleibende Leberparenchym berechnet. Ist der Benutzer mit diesem Ergebnis nicht zufrieden (ist zum Beispiel das im Patienten verbleibende Volumen zu gering), kann er die definierte Resektionsfläche durch direkte Manipulation korrigieren und damit die Volumina optimieren. Bisher wird die Schnittfläche nicht dynamisch bewertet, nach jeder Modifikation der Fläche muss der Benutzer die Aktualisierung der Volumina auslösen.

Strategien. Die Speicherung der virtuellen Planungen des Lernenden erfolgt in „Strategien“. Eine Strategie enthält jeweils die Resektionsfläche(n) und/oder Applikatoren für eine Variante der Therapie. Um mehrere Therapiemöglichkeiten zu erproben, wird jeweils eine neue Strategie angelegt, ohne dass die vorangegangene Planung verloren geht oder der Fall erneut geladen werden muss. Das ermöglicht den Test mehrerer Therapievarianten und die Gegenüberstellung ihrer Auswirkungen auf das Lebervolumen.

Trainingsschritt Analyse. Es erfolgt bisher eine quantitative Gegenüberstellung der Resektionen und Applikatoren sowie der Volumina des Resektats und des verbleibenden Parenchyms der Therapie des Lernenden und des Experten.

Für eine angemessene Beurteilung der Planung des Lernenden ist die Bewertung der Resektionsfläche das wesentliche Kriterium. Eine optimale Resektionsfläche für onkologische Eingriffe liegt beispielsweise vor, wenn ein Sicherheitsrand (idealerweise 10mm) um den Tumor eingehalten wurde, ausreichend funktionsfähiges Leberparenchym im Patienten verbleibt (abhängig vom Gewicht des Patienten), die Resektionsfläche minimal ist (Vermeiden von zu vielen angeschnittenen Gefäßen) und der Zugang geeignet gewählt wurde (Vermeidung von zentralen Resektionen dorsal).

Bei Leberlebenspenden kommt es bei der Führung der Resektionslinie in erster Linie darauf an, möglichst die Segmentgrenzen zu respektieren, um weniger Komplikationen durch Blutungen und Gallelecks sowie weniger nicht perfundiertes Gewebe zu riskieren. Bei der Erwachsenen-Spende muss die Entscheidung getroffen werden, auf welcher Seite die mittlere Lebervene verbleibt. Dort steht damit das Perfusionsproblem im Vordergrund. Die Größe der Schnittfläche ist bei dieser Art von Eingriffen unerheblich.

Die genannten Parameter und die Bandbreite von anatomischen, pathologischen und klinischen Parametern sind so groß, das es bisher nicht realistisch erscheint eine Art Optimierung vorzuschlagen und die Resektionsfläche automatisch zu bewerten. Weil im Einzelfall nur ein erfahrener Chirurg die Wichtung dieser Parameter bestimmen kann, werden dem Lernenden Expertenvorschläge präsentiert, statt die Korrektheit seiner Planung direkt zu bewerten. Um die Vielfalt der Therapievarianten und ihrer Kompromisse zu verdeutlichen, erscheint ferner die Präsentation mehrerer Expertenvorschläge sinnvoll. Eine qualitative Bewertung bzw. die Definition der Kompetenz, die der Lernende durch das Training erreichen soll, sind im ersten Prototypen bisher nicht berücksichtigt. Die Lernerfolgsbewertung ist Gegenstand zukünftiger Forschungen.

Hilfesystem. Da die Benutzer heterogene Erfahrungen in Bezug auf die Bedienung computergestützter Planung besitzen, wurde ein Hilfesystem implementiert, das mehrere Hilfestufen enthält. Während Anfänger durch das Training der Planung geleitet werden und in jedem Schritt genaue Erklärungen zu den notwendigen Interaktionen erhalten, bekommen erfahrene Anwender Hilfen nur auf Anforderung.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Das Design des LiverSurgeryTrainers für das fallbasierte chirurgische Training erfolgte auf Basis der szenariobasierten Konzeption von Softwaresystemen nach Rosson und Carroll [RC02]. Diese Art der Entwicklung ermöglicht ein auf die Anwender konzentriertes Design. Die entwickelten Szenarien beeinflussten maßgeblich das Design des LiversurgeryTrainers und erwiesen sich bei der Entwicklung einerseits bei der Diskussion mit chirurgischen Experten als hilfreich, sowie für die Auswahl einer repräsentativen Menge von Trainingsfällen und den zugehörigen benötigten relevanten Informationen. Die erste Evaluierung soll ebenfalls auf Basis der entwickelten Szenarien durchgeführt werden. Eine Vielzahl an chirurgischen Experten soll das System eigenständig testen, deshalb ist eine vorausgehende Schulung aus logistischen Gründen nicht realisierbar. Sie erhalten als Unterstützung eine ausführliche Anleitung zur Bearbeitung eines Falls, die auf einem der entwickelten Szenarien basiert. Im Anschluss an die Bearbeitung dieses Falls bekommen sie einen Fragenbogen, mit dessen Hilfe sie die Bedienung und Erlernbarkeit des Systems einschätzen sollen. Bei der Auswertung der Evaluierungsergebnisse muss beachtet werden, dass die Szenarien indirekt in die Bewertung des Systems eingehen.

Künftig wird für eine bessere Vermittlung des Einflusses minimaler Modifikationen der Planung eine dynamische Bewertung der Resektionsflächen angestrebt. Außerdem soll die Bewertung des Lernerfolgs umfassend erforscht werden.

Wir danken allen Mitarbeitern des MEVIS DISTANT SERVICES und Dr. Stefan Zidowitz für ihre Unterstützung und die Aufarbeitung der Trainingsfälle.

Diese Arbeit ist Teil des vom BMBF geförderten Verbundvorhabens SOMIT-FUSION (FKZ 01|BE 03B).

8. Referenzen

- [ASJ06] I.D. Ayodeji, M.P. Schijven und J.J. Jakimowicz. Determination of face validity for the Symbionix LAP mentor virtual reality training module. *Studies in health technology and informatics*, Band 119, Seiten 28–30, 2006.
- [BBSR97] J.F. Brinkley, S.W. Bradley, J.W. Sundsten und C. Rosse. The digital anatomist information system and its use in the generation and delivery of web-based anatomy atlases. *Computers and Biomedical Research*, Band 30(6), Seiten 472–503, 1997.
- [TMB99] G. Testa, M.Malago,C.E. Broelsch. Living-donor liver transplantation in adults. *Langenbeck's Archives of Surgery*, Band 384, Nummer 6, Seiten 536–543, 1999.
- [BMV99] U. Bockholt, W. Müller, G. Voss, U. Ecke und L. Klimek. Real-time simulation of tissue deformation for the nasal endoscopy simulator (NES). *Computer Aided Surgery*, Band 4(5), Seiten 281–285, 1999.
- [BSL02] H. Bourquain, A. Schenk und F. Link et al. HepaVision2- A software assistant for preoperative planning in living-related liver transplantation and oncologic liver surgery. In *Proc. of Computer Assisted Radiology and Surgery*, Seiten 341–346, 2002.
- [C00] J.M. Carroll. Five reasons for scenario-based design. *Interacting with Computers*, Band 13(1), Seiten 43–60, 2000.
- [CMP06] J. Cordes, K. Mühler und B. Preim. Die Konzeption des LiverSurgeryTrainers. In *GI-Workshop "Softwareassistenten - Computerunterstützung für die medizinische Diagnose und Therapieplanung"* im Rahmen der GI-Jahrestagung 2006. Springer, Seiten 514–521, 2006.
- [GKH99] P. Golland, R. Kikinis und M. Halle et al. AnatomyBrowser: A Novel Approach to Visualization and Integration of Medical Information. In *Journal of Computer Assisted Surgery*, Band 4, Seiten 129–143, 1999.
- [HPP00] K.H. Höhne, B. Pflesser und A. Pommert et al. *Voxel-Man 3D-Navigator Inner Organs, Regional, Systemic and Radiological Anatomy*. Karl-Heinz Höhne und Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2000.
- [PLTH00] B. Pflesser, R. Leuwer, U. Tiede und K.H. Höhne. Planning and rehearsal of surgical interventions in the volume model. *Studies in health technology and informatics*, Band 70, Seiten 259–264, 2000.
- [RC02] M.B. Rosson, J.M. Carroll. *Usability Engineering. Scenario-based development of human-computer interaction*. Academic Press, 2002.
- [SDM00] L. Soler, H. Delingette und G. Malandain et al. An automatic virtual patient reconstruction from CT-scans for hepatic surgical planning. In *Stud Health Technol Inform*, Band 70, Seiten 316–322, 2000.
- [THS04] M. Thorn, T. Heimann und C. Sonek et al. OrgaNicer - Eine Visualisierungssoftware für die Operationsplanung in der Leberchirurgie. In *Aktuelle Trends in der Softwareforschung Tagungsband zum doIT Software-Forschungstag*, Stuttgart: IRB (2004) 175–185, 2004.
- [MCC02] J.J.G. van Merriënboer, R.E. Clark und M.B.M. de Croock. Blueprints for Complex Learning: The 4C/ID-Model. In *Educational Technology Research & Development*, Band 50(2), Seiten 39–64, 2002.

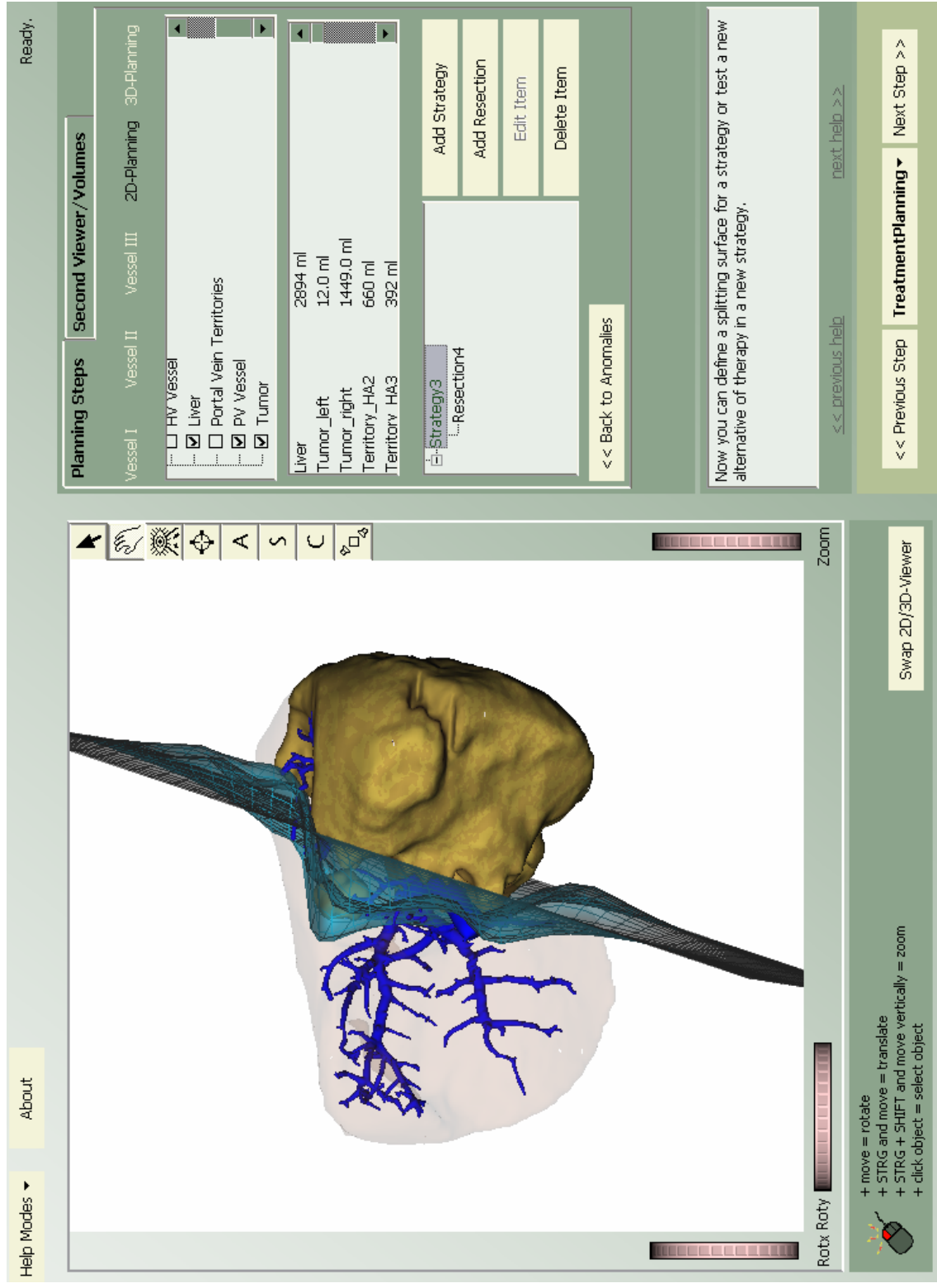
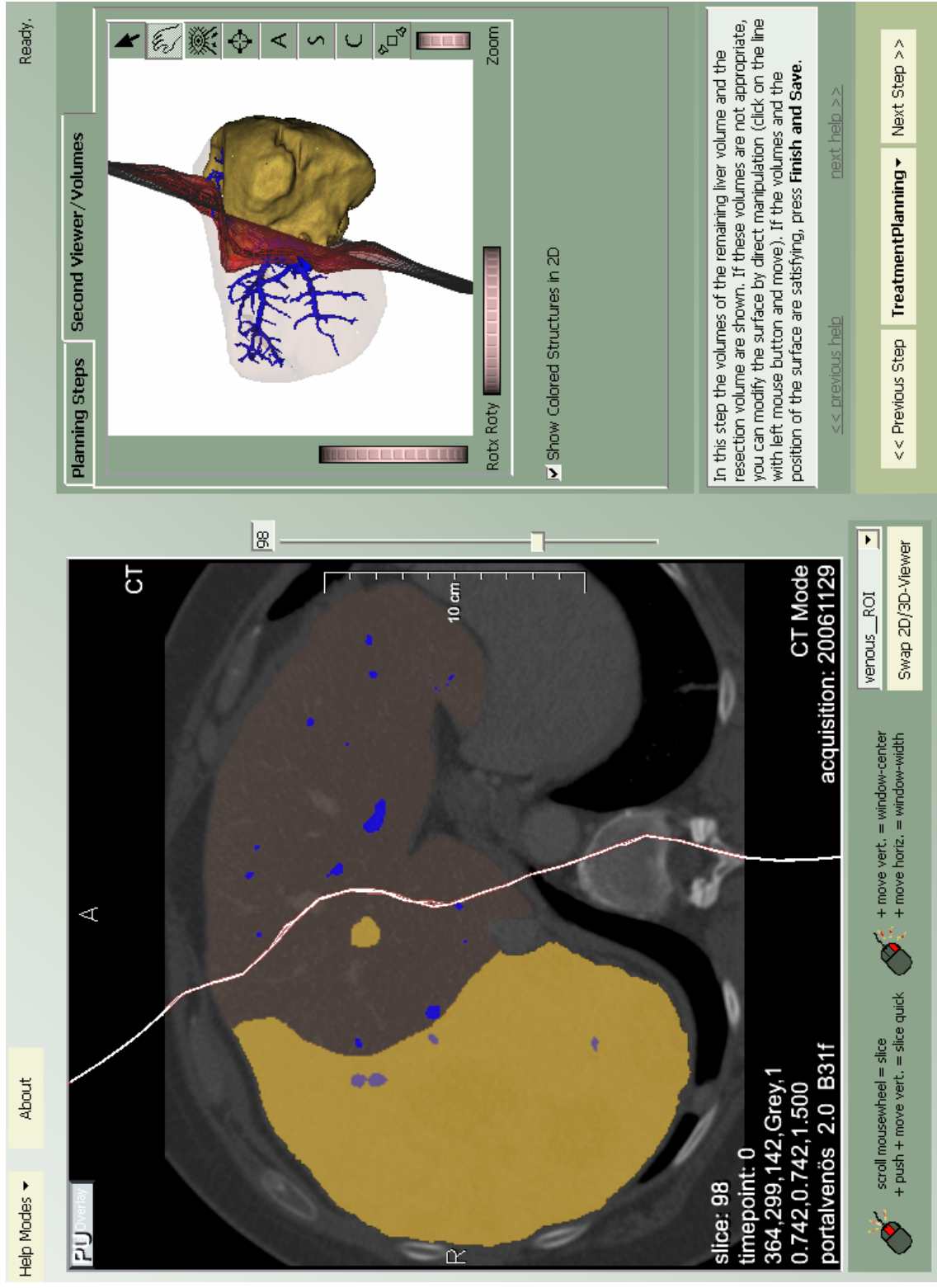


Abb.2: LiverSurgeryTrainer Trainingsschritt: Planung einer Resektion. In der 3D-Darstellung sind die Leber, der Tumor (rechts außen) sowie die Portalvenen eingeblendet. Der Tumor wird durch eine Resektionsfläche vom gesunden Lebergewebe abgetrennt.



In this step the volumes of the remaining liver volume and the resection volume are shown. If these volumes are not appropriate, you can modify the surface by direct manipulation (click on the line with left mouse button and move). If the volumes and the position of the surface are satisfying, press **Finish and Save**.

Abb.3: LiverSurgeryTrainer Trainingsschritt: Planung einer Resektion. In der 2D-Darstellung (links) und 3D-Darstellung (rechts) sind die Leber, der Tumor (rechts außen), Gefäße sowie die Resektionsfläche eingebildet.