Die Konzeption des LIVERSURGERYTRAINERS

Jeanette Cordes, Konrad Mühler, Bernhard Preim
Institut für Simulation und Graphik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

{cordes, kmuehler, preim}@isg.cs.uni-magdeburg.de

Abstract: Wir beschreiben die Konzeption eines fallbasierten chirurgischen Lernsystems (LIVERSURGERYTRAINER). Mit diesem System wird die computergestützte Planung von Leberlebendspenden und zur Behandlung von Lebertumoren trainiert. Aufgrund der komplexen Anatomie ist die Planung und Durchführung von Eingriffen an der Leber besonders anspruchsvoll.
Das Lernsystem ist modellhaft für ähnliche chirurgische Lernsysteme. Ausgehend von einer prototypischen Umsetzung des LIVERSURGERYTRAINERS [BMOP04] und den damit gesammelten Erfahrungen, erfolgt ein grundlegendes Redesign des Systems. Die in diesem Beitrag beschriebene Neukonzeptionierung orientiert sich maßgeblich an dem von Merriënboer et al. [vMCdC02] vorgestellten Vier-Komponenten-Instruktionsdesign-Modell (4C/ID-Modell), das alle für eine chirurgische Ausbildung wesentlichen Komponenten enthält.

1 Einleitung

Die chirurgische Aus- und Weiterbildung ist immer noch stark von den zur Verfügung stehenden medizinischen Experten und dem örtlich vorhandenen Fallspektrum abhängig. Das in chirurgischen Kursen vermittelte Wissen ist vom Lehrer und seinen Erfahrungen geprägt. Der praktische Teil beschränkt sich auf nur wenige, möglicherweise nicht repräsentative, Fallbetrachtungen bzw. Übungen an Tier- oder Leichenpräparaten. Neben dem Training von Operations- und Interventionstechniken spielt die Auswahl der optimalen Behandlungsstrategie eine wichtige Rolle. Dabei geht es beispielsweise 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 (z.B. CT, MRT) 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 erstellt [BSL+02]. Anhand dieser Modelle können Eingriffe simuliert und im Vorfeld eingeschätzt werden. Für den klinischen Einsatz der meist sehr komplexen computergestützten Systeme zur Planung von Eingriffen ist ein Lernsystem notwendig. Das Lernsystem LIVERSURGERYTRAINER für das Training der computergestützten Planung von Lebertherapiemethoden soll in spezielle chirurgische Kurse integriert werden, um die

Planung von Therapievarianten zu trainieren und den Teilnehmern ein breiteres Fallspektrum zu präsentieren. Der Entwurf und die Umsetzung des Lernsystems erfolgen in enger Zusammenarbeit mit chirurgischen Experten.
Damit den Anwendern der Lernstoff effektiv und angemessen vermittelt werden kann, ist eine systematische Konzeption eines Lernsystems notwendig. Dazu müssen die Ausgangsbedingungen sorgfältig analysiert und ein geeignetes Instruktionsdesignmodell gewählt werden. Diese Modelle geben Richtlinien für eine angemessene Strukturierung und Präsentation des Lernstoffes, die auf der pädagogischen Psychologie und der empirischen Erziehungswissenschaft basieren. Bei der Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINERS dient das Konzept des Vier-Komponenten-Instruktionsdesign-Modells nach Merriënboer et al. [vMCdC02] als Grundlage.

2 Computerunterstützung in der medizinischen Ausbildung

Die Computerunterstützung in der medizinischen Ausbildung hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Bisher wurden allerdings hauptsächlich Browsing- und Präsentationssysteme, wie z.B. VOXELMAN [HPPea00] und ANATOMYBROWSER [GKH+99], für die Ausbildung von Medizinstudenten entwickelt.
Es sind keine fallbasierten Systeme bekannt, die die ärztliche Weiterbildung im Bereich der Abdominalchirurgie unterstützen. Trainingssysteme für die ärztliche Weiterbildung beschränken sich außerdem 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 [BMV+99]) und Operationen am Felsenbein (TEMPOSURG [PLTH00]) trainiert werden können. Es sind aber keine fallbasierten Systeme bekannt, die die computergestützte Planung von Eingriffen an der Leber bzw. im Abdominalraum trainieren.

3 Das 4C/ID-Modell

Beim Vier-Komponenten-Instruktionsdesign-Modell nach Merriënboer et al. [vMCdC02], welches als Grundlage für die Konzeption des LIVERSURGERYTRAINERS dient, steht die Vermittlung von Handlungswissen im Vordergrund. Dieses Modell unterstützt die Aneignung von Fähigkeiten, die für eine Aufgabe benötigten Fertigkeiten zu erlernen und koordiniert und integriert anzuwenden. In diesem Modell werden die wichtigsten drei Mängel der vorher existierenden Instruktionsmodelle beseitigt: Im Gegensatz zu den Vorgängermodellen wird das Training von aufgabenspezifischen Teilfertigkeiten integriert und koordiniert. Es erfolgt eine Trennung von unterstützenden Informationen (Verbindung zwischen dem Wissen des Lernenden und der Lernaufgabe) und benötigten einsatzsynchronen Informationen (Wissen, das der Lernende für die Ausführung einer Fertigkeit benötigt).

Es berücksichtigt weiterhin, dass Anfänger komplexe Aufgaben anders lernen als einfache Aufgaben. Das Modell gliedert sich in vier Komponenten (siehe Abb.1), die im Folgenden kurz beschrieben werden:

Lernaufgaben. Die Aufgaben im Lernsystem sollen so konzipiert sein, dass sie die Lernenden authentisch und ganzheitlich bei der mentalen Schemakonstruktion und Regelautomatisierung unterstützen. Die Lernaufgaben werden in Aufgabenklassen wachsender Komplexität eingeteilt. Die Unterstützung der Lernenden wird bei den Aufgaben einer Klasse nach und nach verringert.

Training von Teilaufgaben. Wenn ein hoher Grad an Automatisierung eines rekurrenten Aspekts benötigt wird, liefert die Ausführung von kompletten Lernaufgaben möglicherweise nicht ausreichend Wiederholungen. In diesen Fällen, vor allem bei sicherheitskritischen Fertigkeiten, ist es notwendig, auch das Training von Teilaufgaben anzubieten.

Unterstützende Informationen. Diese, den Lernenden zusätzlich gelieferten Informationen, sollen eine Verbindung zwischen dem vorhandenen Wissen und der Arbeit an der Lernaufgabe herstellen. Diese Informationen sind für Aufgaben innerhalb einer Klasse gleich, die durch das Herstellen von Beziehungen mit vorhandenem Wissen hochkomplexe mentale Schemata für die Lösung der Aufgaben erzeugen sollen. Wichtig für den Lernprozess ist die Rückmeldung über die Ausführung der Aufgabe. Dies kann durch Abschlussbesprechungen und Kritik durch andere Lernende oder Experten geschehen.

Einsatzsynchrone Informationen. Einsatzsynchrone Informationen beinhalten Wissen für die schrittweise Ausführung von rekurrenten Fertigkeiten. Sie sollten während der ersten Lernaufgabe geliefert werden, für die sie relevant sind. Um eine kognitive Überlastung der Lernenden zu verhindern, wird jeweils nur eine kleine Menge neuer Informationen präsentiert, die Wissen für die korrekte Anwendung dieser Regeln enthält. Bei fehlerhafter Ausführung der Regeln sollte sofort Rückmeldung geliefert werden, die Informationen über den Fehler und dessen Berichtigung enthält.

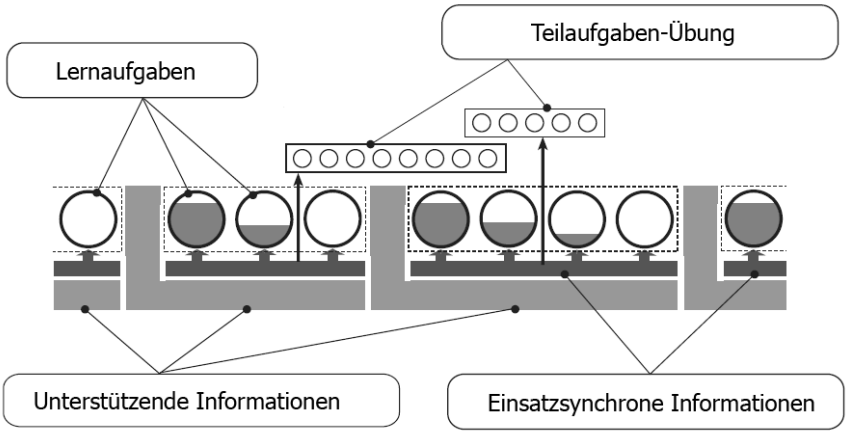

Abbildung 1: Graphische Darstellung der vier Komponenten: Lernaufgaben, Teilaufgaben-Übung, Unterstützende Informationen und einsatzsynchrone Informationen (modifiziert nach [vMCdC02]).

4 Analyse der Ausgangsbedingungen

Die Analyse der Ausgangsbedingungen für die Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINERS gliedert sich in mehrere Teilaspekte, die in den folgenden Abschnitten beschrieben werden.

Problem- und Bedarfsanalyse. Für die operative oder interventionelle Behandlung von Lebertumoren existiert eine Vielzahl von Möglichkeiten: Tumorablationen, laparoskopische Eingriffe, konventionelle Operationen sowie Kombinationseingriffe. Zu Operationen zählen standardisierte Eingriffe, wie die Entfernung von Leberhälften, Leberlappen und -segmenten sowie spezielle Eingriffe, die ausgehend von einem Tumor und einem angestrebten Sicherheitsrand um den Tumor vorgehen. Die Auswirkungen 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.
Seit ca. fünf Jahren ist die computergestützte Operationsplanung für Eingriffe an der Leber so weit fortgeschritten, dass sie klinisch eingesetzt wird (z.B.: ORGANICER [THS+04], HEPAVISION [BSL+02], [SDM+00]). 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.
Um die Chirurgen an die computergestützte Operationsplanung heranzuführen, ist die Entwicklung eines Lernsystems sinnvoll, das das Training der notwendigen Arbeitsabläufe, präoperativer Entscheidungen und von Interaktionstechniken zur Planung (z.B. Einzeichnen von chirurgischen Schnittflächen und Definition von Applikatoren) auf 2D Schichtbilddaten und 3D rekonstruierten Modellen ermöglicht. Das Training mit dem Lernsystem soll die Akzeptanz der computergestützten Planung erhöhen, die Kompetenzen verbessern und damit das Risiko der operativen und minimalinvasiven Eingriffe herabsetzen.

Anwenderanalyse. Die Anwender des Trainingssystems sind Fachärzte und angehende Fachärzte bzw. Assistenzärzte der Chirurgie mit der Subspezialisierung Abdominalchirurgie. Sie verfügen über umfangreiches Anatomiewissen, besitzen aber unterschiedliche Erfahrungen im Bereich der Therapieentscheidung und -durchführung sowie im Umgang mit dem Computer und bei der Arbeit mit Planungssystemen. Im Lernsystem soll auf diese unterschiedlichen Wissensstände eingegangen werden.

Aufgabenanalyse. Die Lernenden sollen nach dem Training in der Lage sein, das Konzept und den Arbeitsablauf der Planungssysteme zu verstehen und diese anzuwenden. Das Training soll die mentale Schemakonstruktion und Regelautomatisierung für den Workflow und die verwendeten Interaktionstechniken fördern. Ziel ist es außerdem, mit dem LIVERSURGERYTRAINER neue OP- und Interaktionstechniken in regelmäßig stattfindenden Kursen zu vermittelt.

Wissensanalyse - prozedurales Wissen. Die Analyse des benötigten Wissens umfasst unter anderem die Untersuchung des prozeduralen Wissens. Dafür werden alle für die Ausführung der Lernaufgabe notwendigen Handlungen, deren genauere Spezifizierung und das

vorausgesetzte Hintergrundwissen bestimmt. Beispielhaft sind die für die Durchführung einer Ablation im LIVERSURGERYTRAINER notwendigen Entscheidungen und Handlungen in einem Flussdiagramm dargestellt (Abb. 2). Der Lernende entscheidet sich direkt nach der Diagnose, zusätzlich zu einer Resektion oder nachdem eine Resektion nicht ausführbar war für eine Ablation des Tumors. Schätzt er einen Tumor als ablatierbar ein, muss er in den folgenden Schritten mögliche Risikoorgane (die sich in der aktiven Zone des Applikators befinden) bewerten, den Applikator platzieren und im Anschluss den Pfad des Applikators auf gefährdete Strukturen überprüfen. Die Auswertung seiner Planung erfolgt abschließend in der Analyse.

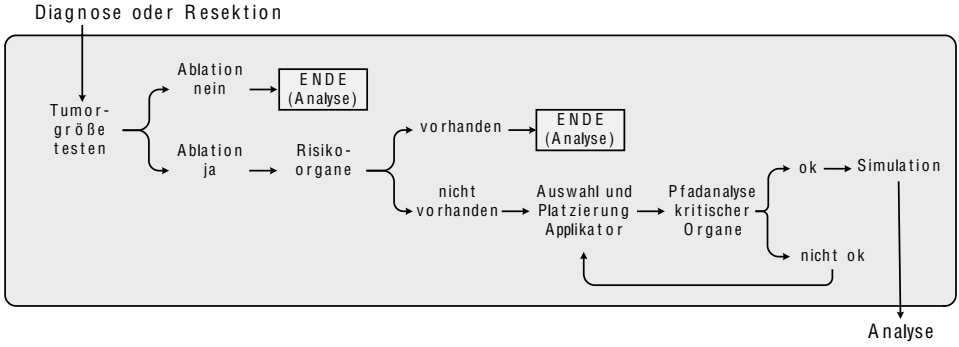

Abbildung 2: Flussdiagramm der Entscheidungen und Handlungen bei dem Training der Ablation.

5 Konzeption

Das Lernsystem orientiert sich an den klinischen Abläufen für die Planung von Therapien. Daraus ergeben sich die in Abb. 3 dargestellten Schritte. Nach der Wahl eines Trainingsfalls bekommt der Lernende, wie im klinischen Alltag, alle notwendigen Informationen zu den Patientendaten, der Anamnese, durchgeführten Untersuchungen sowie den Befund präsentiert. Er muss sich für eine geeignete Therapievariante entscheiden, deren Durchführung er virtuell plant. Sein Ergebnis wird in der Analyse der Therapieempfehlung eines Experten gegenübergestellt. In der Nachbetrachtung bekommt der Lernende das OP-Protokoll, Videos der real durchgeführten Operation und weitere Informationen zum postoperativen Verlauf dargeboten.

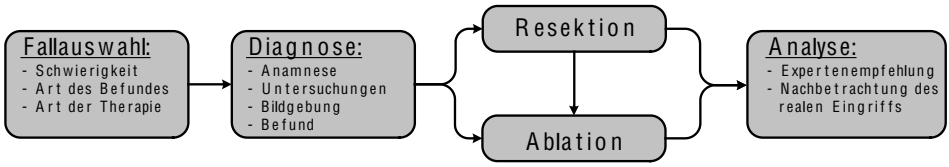

Abbildung 3: Schematischer Workflow für das Training mit dem LIVERSURGERYTRAINER.

Im Folgenden wird auf die Konzeption des LIVERSURGERYTRAINERS auf der Grundlage des vorgestellten Instruktionsdesignmodells eingegangen.

Lernaufgaben. Die Einteilung der Lernaufgaben im LIVERSURGERYTRAINER erfolgt in Aufgabenklassen von einfach zu komplex. Der Lernende wählt zu Beginn seines Trainings aus der Falldatenbank einen Fall für das Training. In der Falldatenbank befinden sich reale, aufgearbeitete Fälle. Vor allem Fälle mit außergewöhnlichem pathologischem Befund und großen Herausforderungen an die Therapieplanung und -durchführung (mit denen viele Chirurgen in der Praxis nicht konfrontiert werden) sowie alltägliche Befunde, die als Einstieg in die computergestützte Planung dienen, sollen dort vertreten sein. Um das Training realitätsnah zu gestalten, werden Szenarien für jede Aufgabenklasse formuliert, die auf realen Fällen basieren und den Abläufen im klinischen Alltag entsprechen.

Im Folgenden wird ein Beispiel für ein Szenario der Aufgabenklasse „Resektion eines einfachen Tumors“ gegeben: *Der Allgemeinzustand des Patienten und seine Leberfunktionswerte sind gut. Er kann als operabel eingestuft werden. Es befindet sich ein Tumor in peripherer Lage in der Leber, der durch eine Resektion entfernt werden kann. Das Ziel ist es, eine Resektionsfläche durch die Leber zu legen, um den Tumor abzutrennen und gleichzeitig die Leberfunktion bestmöglich zu erhalten.*

Training von Teilaufgaben. Die Aufgabe der computergestützten Planung von Eingriffen an der Leber enthält die Teilaufgaben der Definition von Schnittflächen und Applikatoren. Da die Ausführung dieser Teilaufgaben kritisch für eine computergestützte Planung ist, sollen sie im Lernsystem im Rahmen einer Teilaufgabenübung separat trainiert werden.

Unterstützende Informationen. Die Lernenden bekommen zusätzliche Informationen zur Lernaufgabe präsentiert, z.B. Expertenerklärungen zum medizinischen Hintergrund oder zu Besonderheiten der Interaktion. Außerdem erhalten die Lernenden Rückmeldung über die Ausführung der Aufgabe durch eine Gegenüberstellung ihres Ergebnisses mit der Empfehlung eines Experten, der diesen Fall bearbeitet hat.

Einsatzsynchrone Informationen. Die Lernenden bekommen in verschiedenen Hilfemodi Informationen zur Ausführung der Lernaufgaben. Die höchste Unterstützung bei der Bearbeitung eigener Aufgaben wird bei der „geführten Tour“ geliefert. Dabei werden den Lernenden zu jedem Schritt programmspezifische Anweisungen gegeben. Das schließt zum einen die Beschreibung der auszuführenden Aktionen und die dazu notwendigen Bedienelemente ein und zum anderen Erklärungen zur Reihenfolge und Notwendigkeit der Bearbeitungsschritte. Im Modus „Automatische Hilfen“ werden den Lernenden mit mehr Erfahrung Bearbeitungshinweise mit Beschreibungen komplexer Aktionen nur noch vor jedem Bearbeitungsschritt (z.B. Diagnose, Resektion) präsentiert [BRS+06]. Es besteht jederzeit die Möglichkeit, Unterstützung bei der Ausführung der Aufgabe anzufordern. Weitere Unterstützung erhalten die Lernenden bei der Einführung in neue Fälle oder der interaktiven Exploration der 3D Modelle durch Animationen [MBP06]. Diese Animationen sind skriptbasiert und passen sich automatisch an die individuelle Anatomie (z.B. Lage und Größe von Metastasen) jedes Falls an.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben die Konzeption eines fallbasierten Trainingssystems für Chirurgen vorgestellt. Mit dem LIVERSURGERYTRAINER wird erstmals ein fallbasiertes Training computergestützter Planung für Eingriffe an der Leber ermöglicht. Der Fokus des Systems liegt dabei auf der Therapieentscheidung und der Operationsplanung. Das verwendete 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. Ein chirurgisches Lernsystem macht die Ausführung und das intensive Üben von kritischen Aktionen ohne die Gefährdung von realen Patienten möglich. 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. Der LIVERSURGERYTRAINER soll in mehreren Phasen in Studien mit Endanwendern evaluiert werden.

Diese Arbeit ist Teil des vom BMBF geförderten Verbundvorhabens FUSION im Förderprogramm SOMIT (FKZ 01IBE 03B).

Literatur

[ASJ06] I.D. Ayodeji, M.P. Schijven und J.J. Jakimowicz. Determination of face validity for the Simbionix LAP mentor virtual reality training module. *Studies in health technology and informatics*, 119:28–30, 2006.

[BMOP04] Ragnar Bade, Sebastian Mirschel, Karl J. Oldhafer und Bernhard Preim. Ein fallbasiertes Lernsystem für die Behandlung von Lebertumoren. In *Bildverarbeitung für die Medizin*, Informatik aktuell, Seiten 438–442. Springer, 2004.

[BMV+99] 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*, 4(5):281–285, 1999.

[BRS+06] Ragnar Bade, Ivonne Riedel, Lars Schmidt, Karl J. Oldhafer und Bernhard Preim. Combining Training and Computerized Planning of Oncologic Liver Surgery. In *Bildverarbeitung für die Medizin*, Seiten 409–413. Springer-Verlag, 2006.

[BSL+02] H. Bourquain, A. Schenk, F. Link, B. Preim, G. Prause und H.-O. Peitgen. 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.

[GKH+99] P. Golland, R. Kikinis, M. Halle, C. Umans, W.E.L. Grimson, M.E. Shenton und J.A. Richolt. AnatomyBrowser: A Novel Approach to Visualization and Integration of Me-

dical Information. In *Journal of Computer Assisted Surgery*, Jgg. 4, Seiten 129–143, 1999.

[HPPea00] K.H. Höhne, B. Pflesser, A. Pommert und K. Preismeyer et al. Voxel-Man 3D-Navigator Inner Organs, Regional, Systemic and Radiological Anatomy. In *Journal of Computer Assisted Surgery*. Springer, 2000.

[MBP06] K. Mühler, R. Bade und B. Preim. Skriptbasierte Animationen für die Operationsplanung und Ausbildung. In *Bildverarbeitung für die Medizin*. Springer, 2006.

[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*, 70:259–264, 2000.

[SDM+00] L. Soler, H. Delingette, G. Malandain, N. Ayache, C. Koehl, J.M. Clement, O. Dourthe und J. Marescaux. An automatic virtual patient reconstruction from CT-scans for hepatic surgical planning. In *Stud Health Technol Inform*, Jgg. 70, Seiten 316–22, 2000.

[THS+04] M. Thorn, T. Heimann, C. Sonek M. Schöbinger, P. Schemmer, L. Grenacher, G.M. Richter, T. Kraus, M.W. Büchler und H.P. Meinzer. OrgaNicer - Eine Visualisierungssoftware für die Operationsplanung in der Leberchirurgie. In *Aktuelle Trends in der Software-forschung - Tagungsband zum doIT Software-Forschungstag*, 2004.

[vMCdC02] 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*, number 50(2), Seiten 39–64, 2002.