

Jeanette Mönch, Wolfgang Lauer und Bernhard Preim

# Leitlinien für die Konzeption chirurgischer Ausbildungs- und Trainingssysteme

## Guidelines for conceptual design of computer-based surgical education and training systems

### 1. Einleitung

In der chirurgischen Ausbildung werden theoretische und praktische Aspekte der Diagnostik und Therapie vor allem durch Vorlesungen, Lehrbücher, Praktika und Falldarstellungen in Fachzeitschriften vermittelt. Zum praktischen Erlernen und Trainieren spezieller Therapieverfahren weist darüber hinaus ein erfahrener Chirurg seinen Studenten bzw. Assistenten an und kontrolliert sowie korrigiert ggf. sein Vorgehen (Meister-Lehrlings-Prinzip).

Neben Diagnose und Interventions-techniken spielt im chirurgisch-therapeutischen Berufsalltag auch die Auswahl der optimalen Behandlungsstrategie eine wichtige Rolle. Dabei geht es zum Beispiel im Bereich der onkologischen Leberchirurgie (operative Entfernung von Leberkrebsherden) darum, die Operabilität von Patienten einzuschätzen, das Ausmaß einer Resektion festzulegen oder die Notwendigkeit einer Gefäßrekonstruktion zu beurteilen. In der operativen Orthopädie stehen, z. B. bei der Korrektur von Deformitäten, komplexe biomechanische Überlegungen im Vordergrund. **Ausbildung** als umfassende Vorbereitung auf das chirurgische Aufgabenspektrum und **Training** als Unterstützung spezifischer Fertigkeiten müssen daher sowohl komplexe perzeptuelle und kognitive, als auch manuell-motorische Aspekte einschließen. Insbesondere die Ableitung fundierter Therapie- und Handlungsentscheidungen auf Basis (teilweise begrenzter) multimodal vorliegender Informationen stellt eine große Herausforderung für Novizen dar, der primär durch das Nachvollziehen von

Beispielen aus der Literatur, dem Erleben der Anleitenden sowie durch zunehmende eigene Erfahrungen begegnet werden kann.

Computergestützte chirurgische Ausbildungs- und Trainingssysteme ergänzen und unterstützen in den letzten Jahren mehr und mehr die klassische medizinische Aus- und Weiterbildung. Sie dienen beispielsweise zur Vermittlung anatomischer Lagebeziehungen und pathologischer Besonderheiten. Mit ihrer Hilfe kann der klinische Workflow von der Anamnese über die Diagnose und Therapieentscheidung bis hin zur Planung und Durchführung der Therapie virtuell erlernt und trainiert werden. Sie ermöglichen es (angehenden) Chirurgen, sich mit neuen Vorgehensweisen und technischen Möglichkeiten sowie seltenen Krankheitsbildern vertraut zu machen.

Der Einsatz computerbasierter Lernsysteme mit explorativen, problemorientierten didaktischen Konzepten ermöglicht auf Basis des jeweiligen Feedbacks ein Lernen aus positiven aber auch aus negativen Erfahrungen. Es wird ein gefahrloses Sammeln von Erfahrungen auch aus Fehlern möglich. Die Wissensaneignung erfolgt aktiv, statt rezeptiv wie bei konventionellem Lernen. Durch die Möglichkeit des Lernens in vielfältigen Kontexten und unter verschiedenen Perspektiven wird die Generierung trägen Wissens weitestgehend vermieden – dies kann im Berufsalltag nur schwer oder gar nicht realisiert werden. E-Learning ermöglicht eine flexible, teilweise sogar adaptive Gestaltung des Lernprozesses. E-Learning-Systeme sollten in ein übergeordnetes Bildungskonzept integriert

werden („Blended Learning“), da sie eine konventionelle Lehrveranstaltung mit ausgebildeten und erfahrenen Lehrern und sozialem Kontakt nicht vollständig ersetzen können.

Im medizinischen Bereich existiert eine Vielzahl von Leitlinien, die die „Best Practice“ bzgl. Diagnostik und Therapie bestimmter Krankheitsbilder beschreiben und als Entscheidungshilfe dienen sollen (z. B. Leitlinien der Bundesärztekammer oder der Arbeitsgemeinschaft der wissenschaftlichen medizinischen Fachgesellschaften). In ähnlicher Weise werden im Folgenden Leitlinien für die computergestützte chirurgische Ausbildung vorgestellt. Sie basieren auf Diskussionen im Rahmen des BMBF-geförderten SOMIT-Querschnittsprojektes „Ausbildung und Training“.

### 2. Computergestützte medizinische Ausbildungs- und Trainingssysteme

Mit Hilfe computergestützter Ausbildungs- und Trainingssysteme lässt sich die medizinische Ausbildung unabhängiger von den zur Verfügung stehenden Experten und dem in den Kliniken vorhandenen Fallspektrum gestalten. Daher werden entsprechende Lerninstanzen immer häufiger als Ergänzung zur klassischen chirurgischen Ausbildung eingesetzt. Reale Patientendaten, wie z. B. Informationen zur Anamnese, zu Untersuchungen sowie Röntgenbilder oder Schichtbilddaten können eingebunden werden (Wu et al.

2004). Verschiedene Systemmodule können konsistent aus derselben Datenquelle gespeist werden. So kann z. B. eine Datenbank mit entsprechend aufbereiteten realen Falldaten sowohl als Basis für interaktive Kurse zum Training therapeutischer Entscheidungsprozesse dienen, als auch als Nachschlagewerk seltener Fälle genutzt werden. Zusätzlich besteht z. B. die Möglichkeit, in der Datenbank hinterlegte Röntgenbilder als Trainingsinhalte für die Anwendung neuartiger Therapieplanungswerkzeuge zu nutzen und den berechneten Outcome mit den realen Ergebnissen aus der Datenbank zu vergleichen (Wu et al. 2006).

Mit entsprechenden Ausbildungs- und Trainingssystemen werden kognitive und affektive Fähigkeiten vermittelt. Zum Training psychomotorischer Fertigkeiten dienen (haptische) Chirurgie-Simulatoren, die in der Mehrzahl für laparoskopische Eingriffe (Simbionix 2009) und knochenabtragende Prozesse (Pflesser et al. 2000) entwickelt werden. Diese Simulatoren sind darauf spezialisiert, Gewebe realitätsnah visuell und ggfs. haptisch abzubilden und den Nutzern Kollisionen der virtuellen Instrumente mit den anatomischen Strukturen zurückzumelden. Ähnlich wie bei Flugsimulatoren können kritische Situationen auf diese Weise ohne Gefährdung der Patienten so lange trainiert werden, bis die notwendige Kompetenz in der Bewältigung der Situationen erreicht ist. Darüber hinaus können sich Operierende mit Hilfe realer Daten ihres Patienten auf einen bevorstehenden komplexen Eingriff vorbereiten, indem sie risikolos benötigte Techniken und Arbeitsschritte trainieren. Für die computergestützte Vermittlung von Wissen und Fertigkeiten steht eine große Bandbreite unterschiedlicher Methoden und Medien zur Verfügung. Neben der Verwendung von Texten, Bildern und Videos bieten sich vielfältige Möglichkeiten, um zielgruppenspezifisch und in Abhängigkeit vom Nutzungskontext eine effiziente Wissensvermittlung zu erreichen. So können den Lernenden mit Hilfe interaktiver Modelle aktiv theoretisches Wissen und übergeordnete Zusammenhänge vermittelt werden. Vorteile computergestützter Ausbildungssysteme bestehen neben der Möglichkeit multimedialer Inhaltsvermittlung z. B. in der freien Exploration von Falldaten, einer umfangreichen und ak-

tualisierbaren Fall- und Inhaltsbasis, der Möglichkeit von Feedbackmechanismen und adaptiver Lernpfadsteuerung sowie der objektivierbaren Kontrolle des Lernerfolges.

### 3. Verwandte Leit- und Richtlinien

Für die Konzeption und Entwicklung von E-Learning Angeboten stehen zahlreiche Leitlinien und Standards zur Verfügung. Das „Aviation Industry Computer-Based Training Committee“ (AICC) hat Richtlinien und Empfehlungen für technische Aspekte bei der Erstellung und Verwendung computer- und webbasierten Trainings entwickelt. Es existieren verschiedene Standards und Referenzmodelle zur Erstellung, Beschreibung und Austausch von Lernkursen, deren Inhalten, Strukturen und Metadaten (z. B. des Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE).

Auch im medizinischen Bereich bestehen Leitfäden für die Entwicklung effektiver webbasierter E-Learning Angebote, die von medizinischen Autoren entwickelt wurden (Cook et al. 2004). Es werden darin zwar allgemeine Schritte der Konzeption und Entwicklung webbasierter Lernsysteme erläutert, aber keine Hinweise für die Anwendung geeigneter spezieller Methoden und Techniken (z. B. der didaktischen Konzeption, Entwicklungstechniken, Multimediaeinsatz...) gegeben.

Es sind bisher keine Leitlinien bekannt, die für medizinische bzw. speziell für chirurgische Lernsysteme Hilfestellungen für deren Konzeption, Entwicklung und praktische Realisierung geben und damit Aspekte der oben genannten allgemeinen Leit- und Richtlinien auf chirurgische Lernsysteme und deren Anwender zugeschnitten vereinen.

Um die Auswahl geeigneter Methoden zur Konzeption und Entwicklung chirurgischer Ausbildungs- oder Trainingssysteme und deren Einsatz zu unterstützen, werden daher in diesem Beitrag einige Leitlinien vorgestellt. Neben klassischen Usability-Faktoren wie z. B. leichter Erlernbarkeit (Shneiderman, Plaisant 2009), sind eine Reihe weiterer Aspekte für die effektive und effiziente Nutzbarkeit sowie für die Akzeptanz chirurgischer Trainingssysteme wesentlich, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Die vorgestellten Leitlinien sind innerhalb des Querschnittsprojektes „Ausbildung und Training“ des BMBF-Förderschwerpunktes SOMIT („Schonendes Operieren mit innovativer Technik“) entstanden. Sie basieren vor allem auf Recherchen sowie strukturiertem Expertenwissen aus den drei am Querschnittsprojekt beteiligten Konsortien (OrthoMIT – orthopädische Chirurgie, CoHS – Augenchirurgie und FUSION – Leberchirurgie).

### 4. Leitlinienentwurf

Im Rahmen des Leitlinienentwurfs werden zunächst die verschiedenen Elemente chirurgischer Ausbildungs- und Trainingssysteme und die aus unserer Sicht für deren Erfolg wesentlichen Faktoren beschrieben. Anschließend wird näher auf die wichtigsten Aspekte der Konzeption und Entwicklung eingegangen.

#### 4.1 Elemente chirurgischer Ausbildungs- und Trainingssysteme

Chirurgische Ausbildungs- und Trainingssysteme umfassen, abhängig von ihren Lernzielen, verschiedene Elemente. Reine **Falldatenbanken** enthalten beispielsweise nur eine Fallauswahl und die jeweiligen Falldaten. Es können weder interaktiv Diagnosen erstellt oder Therapieentscheidungen getroffen, noch Eingriffe virtuell durchgeführt werden. Sie vermitteln einen Eindruck von der Vielfalt der anatomischen Varianten und Pathologien und tragen so zum notwendigen Erfahrungswissen bei. Falldatendanken in dieser Form dienen vor allem medizinischen Experten als Nachschlagewerk zur Wissenserweiterung sowie bei der Suche nach speziellen Vergleichsfällen. **Multimediale Handbücher** bieten Studenten und Ärzten alle Vorteile eines klassischen Lehr- und Nachschlagewerkes mit zusätzlich multimedial aufbereiteten Inhalten (Fotos, Videos, Interaktion z. B. mit Schichtbilddaten und dreidimensionalen Modellen), basieren jedoch eher auf generalisiertem Wissen als auf individuellen realen Falldaten und unterstützen darum ebenfalls keine direkte Diagnose- und Therapieerstellung durch den Lernenden. **Interaktive Kurse** (vgl. Bild 1) hingegen bieten grundsätzlich die Möglichkeiten zur explorativen Erschließung der dar-

gebotenen Inhalte mit weiterführendem Feedback, z. B. bei der Erstellung von Diagnosen und der Therapiedefinition, anhand virtueller Patienten (Radermacher et al. 2001). Teilweise ist auch eine virtuelle Durchführung des Eingriffes möglich (z. B. durch Kennzeichnung oder Auswahl zu behandelnder Strukturen bzw. Instrumente), allerdings im Allgemeinen ohne haptisches Feedback. **Chirurgie-Simulatoren** (z. B. im Bereich der Laparoskopie oder katheterbasierter Interventionen) erlauben als Ergänzung ein realitätsnahes manuelles Training von Eingriffen, allerdings basieren sie meist nicht auf realen Falldaten, sondern auf konstruierten Modellen.

Computergestützte chirurgische Ausbildungs- und Trainingssysteme besitzen zusammenfassend also eine Auswahl folgender Elemente:

- **Theorievermittelnde Komponenten** (z. B. anatomische Standardzusammenhänge und Variationen, spezielle Krankheitsbilder, „Best Practice“ für Diagnose- und Therapieprozesse): lehrbuchähnliche Inhaltsrepräsentationen (Texte, Bilder), multimediale Elemente zur anschaulichen Vermittlung komplexer Zusammenhänge (z. B. mit Hilfe von Videos, Animationen, interaktiven 3D-Modellen, kontextsensitiven Inhalten)
- **Lernstands- und Lernerfolgssassessments**: Adaption des Lernpfades an den individuellen Lernfortschritt, Förderung überdurchschnittlich schnell Lernender und Unterstützung

bei Schwächen, Bewertung der Lerninhalte und des Lernsystems, Bewertung der Lernenden z. B. im Rahmen von Kurabschlussprüfungen, Tests zur Überprüfung sowohl des Wissens als auch z. B. manueller Fertigkeiten unter Einbindung eines Chirurgesimulators

- **Interaktive Kurse auf Basis virtueller oder speziell aufbereiteter realer Falldaten**: Fallauswahl (z. B. Wahl eines Falls, Zusammenstellung einer Liste, zufällige Auswahl), Falldatenanzeige (z. B. Anamnese, Labordaten, Bilddaten, Fotos/Videos) und Fallvarianten, Prozessorientierte Fallbearbeitung entsprechend des klinischen Vorgehens, Training von Diagnose- und Therapieentscheidungen (z. B. Auf welcher Basis werden Entscheidungen getroffen? Wer ist beteiligt? Wie werden die Informationen präsentiert?), unterschiedliche Schwierigkeitsgrade (z. B. für Entscheidung bzgl. verschiedener Therapievarianten, Hilfestellungen und Feedbacktexte zu Lösungsversuchen, ggfs. adaptive Unterstützungsintensität und -inhalte), Expertenmeinungen bzw. -kommentare als Beispiel und Leitlinien zur Entscheidungsfindung
- **Falldatenbanken zur Bereitstellung aufgearbeiteter realer Fälle**: Präsentation umfassender Informationen zum realen Eingriff und postoperativen Verlauf (z. B. Anamnesebogen, Laborbefunde, OP-Berichte,

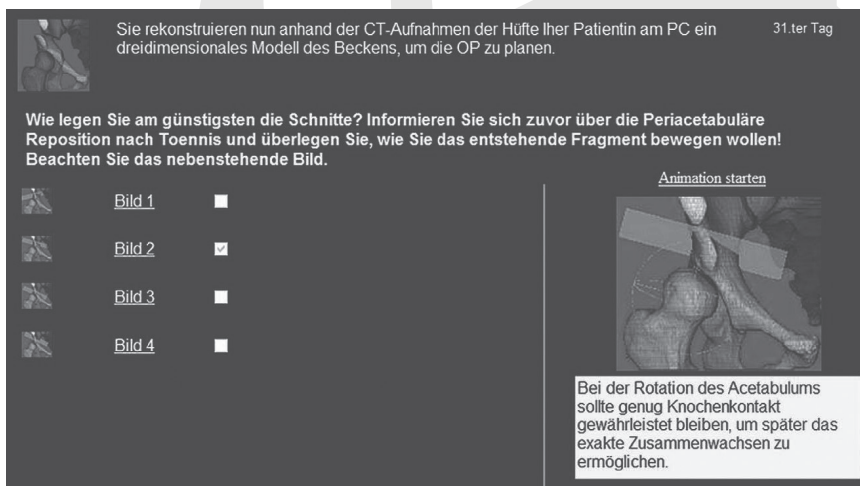
kommentierte Fotos, Videos), Nachschlagewerk seltener Fälle (inkl. Therapieentscheidung und -erfolg) für medizinische Experten, Orientierung bzgl. des möglichen Fallspektrums für Studierende und Assistenzärzte

- **Simulatoren**: Nutzung speziell konstruierter virtueller Modelle oder realer Falldaten, Simulation der Interaktion mit neuartiger (Planungs-)Software (z. B. Exploration des Workflows / bestimmter Bedienfunktionen), Simulation der manuellen Interaktion mit anatomischen Strukturen (z. B. Laparoskopie, kathetergestützte Eingriffe) inkl. haptischem Feedback
- **Elemente des Lernmanagements und sozialer Interaktion**: Benutzerverwaltung mit Zugriffssteuerung und Lerncurriculumsmanagement, Bericht/Interaktion zwischen Lernenden und Lehrenden (z. B. Chat, Forum, Feedback), Interaktion zwischen verschiedenen Lernenden als Lerngruppen oder Individuen (z. B. Chat, Forum), Anbindung an weiterführende Wissens- bzw. Kommunikationsressourcen (z. B. Zeitschriften, Fachplattformen, Fach- und Landesverbände).

## 4.2 Erfolgs- und Akzeptanzfaktoren

Ärzte in der Weiterbildung (Assistenzärzte) sind zumeist stark in den Klinikalltag eingebunden und verfügen daher über begrenzte zeitliche Ressourcen. Assistenz- und Fachärzte sind jedoch neben ihrer Arbeit am Patienten verpflichtet, regelmäßig an Fortbildungsveranstaltungen oder -angeboten teilzunehmen, für die sie CME-Punkte („Continuing Medical Education“) erwerben können. Als Fortbildung können beispielsweise Teilnahmen an Kongressen, Seminaren, Weiterbildungskursen sowie das Eigenstudium mit Fachliteratur oder diversen Onlineangeboten angerechnet werden.

Weiterbildung sollte nicht als störende Zusatzbelastung empfunden werden, sondern als selbstbestimmbare Möglichkeit der Eigenentwicklung über den klinischen Alltag hinaus. Neben der effizienten, ubiquitären und individuell steuerbaren Wissensvermittlung sollte daher eine wichtige Anforderung an ein computergestütztes Lern- bzw. Trainingssystem



**Bild 1:** Interaktiver Kurs aus dem orthopädischen Bereich (Quelle: MediTEC). Die Nutzer sollen anhand realer Falldaten die computergestützte Planung für eine periacetabuläre Umstellungsosteotomie erlernen. Zu verschiedenen Schnittführungsvarianten werden Animationen gezeigt und es werden je nach Anzahl der Fehlversuche abgestuft helfende Erläuterungen gegeben.



tem sein, die Benutzer bzgl. des Lernens zu *motivieren und ihr Interesse an den vermittelten Inhalten zu wecken* bzw. aufrechtzuerhalten. Dabei spielt unter anderem die Verwendung neuartiger und attraktiver visueller Komponenten, interessanter Aufgaben und abwechslungsreicher Inhalte eine wichtige Rolle. Diese Art der Stimulation kann indirekt bei der Erledigung von (Lern-)Aufgaben unterstützen (Hassenzahl 2003). Beispielsweise sollten die Bedienoberflächen durch die Anordnung und Gestaltung der Bedienelemente (z. B. Orientierung an der Oberflächengestaltung gewohnter Software, Buttons mit aussagekräftigem Titel und Icon, Verwendung der gewohnten (Fach-)Sprache) ansprechend und angemessen gestaltet werden. Die Integration von 3D-Visualisierungen, die idealerweise vom Benutzer frei explorierbar sein sollten, bzw. die Verwendung von Animationen und Videos, die den Benutzer optional in einen Trainingsfall einführen (z. B. das 3D-Modell der Patientenanatomie präsentieren und auf pathologische Strukturen oder Besonderheiten hinweisen) und Interesse wecken, diesen Fall zu bearbeiten, sind weitere Mittel, um die Neugier der Lernenden zu wecken (Beispiel siehe Bild 2).

Das System muss als Fachausbildungssystem das *Vertrauen der Benutzer* in Bezug auf die Korrektheit und Relevanz der Inhalte gewinnen, um die Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit den präsentierten Inhalten zu erhöhen. Dafür sollte Expertenwissen integriert und geeignet präsentiert werden. Es sollte sichtbar sein, von welchem (möglichst etablierten) Experten das Wissen stammt.

Um zu gewährleisten, dass das Gelernte bzw. die trainierten Fertigkeiten auf reale klinische Situationen übertragbar sind, sollten die medizinischen Informationen und das Wissen der Experten im *klinischen Kontext* präsentiert werden. Zur Entwicklung einer ganzheitlichen Sicht auf den Patienten, seine Erkrankung und ggf. sein Umfeld, sollte möglichst eine Abbildung des gesamten klinischen Workflows (Patienteninformationen – Anamnese – Untersuchungen – Diagnose – Therapieentscheidung – Therapieplanung – Therapiedurchführung – postoperativer Verlauf) erfolgen.

### 4.3 Didaktische Konzeption

Für die Konzeption von E-Learning-Angeboten existieren unterschiedliche wissenschaftliche Theorien und Modelle (Niegemann et al. 2004). Speziell für die chirurgische Ausbildung erscheinen folgende drei Modelle besonders geeignet. Das Modell des *Cognitive Apprenticeship* entspricht dem traditionellen chirurgischen Lernen und ist vom situierten Lernen abgeleitet. Es werden die Vorteile des in der praktischen Lehre handwerklicher Berufe anzutreffenden Meister-Lehrlingsverhältnisses sichtbare Prozesse zu vermitteln (Modell des Traditional Apprenticeship), für die theoretische Ausbildung der Lernenden in eher kognitiv geprägten Lernbereichen genutzt. Das Modell ist besonders geeignet für die Einführung neuer Lehrinhalte im Bereich des kognitiv-prozeduralen Lernens. Im Gegensatz zum traditionellen Apprenticeship-Modell werden die Fertigkeiten jedoch weitgehend unabhängig von einer bestimmten Aufgabe vermittelt und müssen daher übertragen werden. Eine Generalisierung der Fertigkeiten ist notwendig und die Lernenden müssen verstehen, wann der Einsatz einer Fertigkeit zum Ziel führt und wann nicht. Der Lehrende modelliert zunächst einen Ansatz und der Lernende macht mit Hilfe des Lehrers eigene Erfahrungen, bis er die Aufgaben eigenständig lösen kann (Brown et al. 1989). Die Grundlage dieses Modells ist eine ausgeprägte Kommunikation zwischen dem Lernenden und dem Lehrer. Im Fall des e-Learnings nimmt häufig die Lernumgebung die Position des Lehrers ein. Der Aufwand für die Umsetzung dieses Modells ist deshalb relativ hoch, da die Antwort bzw. Aktion des Lernenden analysiert werden und eine angemessene Reaktion des Systems erfolgen muss. Es sollten bei einer webbasierten Lernumgebung Mittel für die Kommunikation zwischen verschiedenen Lernenden, und idealerweise auch einem Tutor bzw. Lehrer, angeboten werden. Die Kommunikation sollte bei Lernsystemen, die nicht webbasiert sind, durch die Integration in klassische Aus- und Weiterbildungsveranstaltungen vorgesehen werden. Die Konzeption webbasierter Lernangebote kann auf der Basis von *Webquests* nach (Dodge 1995) erfolgen. Webquests sind entdeckungsorientierte Aktivitäten. Dabei

sollen gestellte Aufgaben mit Hilfe einer durch die Lehrenden erstellten Webseite, die Informationen zum Ablauf sowie Materialien zur Lösung der Aufgabe beinhaltet, gelöst werden. Webquests fördern handlungsorientiertes und selbstgesteuertes Lernen, wobei die Lernenden durch die Webseite in ihrem Lernprozess unterstützt werden. Durch die abschließende Evaluation des Webquests wird den Lernenden die Möglichkeit zur Reflexion und den Lehrenden die Möglichkeit zur Verbesserung ihrer Lehre gegeben.

Das *Vier-Komponenten-Instruktionsdesignmodell* (van Merriënboer, Clark, de Croock 2002) wurde speziell für das Training komplexer kognitiver Fähigkeiten entwickelt, wie sie auch im chirurgischen Bereich notwendig sind. Dieses Modell unterstützt den Transfer prozeduralen Wissens und ist damit für die Konzeption chirurgischer Trainingssysteme gut geeignet. Es sieht ein Training von Teilaufgaben vor, die im Rahmen einer Gesamtaufgabe sicherheitskritisch sein können. Das Modell gliedert die Trainingsfälle in einfache bis komplexe Klassen. Weiterhin wird zwischen unterstützender und einsatzsynchrone Information unterschieden, die dem Lernenden an unterschiedlichen Stellen im Trainingsprozess angeboten werden. Für das Training der computergestützten Planung bei der Behandlung von Lebertumoren und für die Leberlebenspende wurde das Vier-Komponenten-Instruktionsdesignmodell bereits erfolgreich angewandt (Cordes et al. 2007). Die Kommunikation zwischen Lernenden untereinander und Lehrern sollte auch hier durch die Eingliederung der Lernumgebung in medizinische Aus- und Weiterbildungsveranstaltungen sichergestellt werden.

#### Fallbasiertes Lernen

In chirurgischen Trainingssystemen sollte, als Teil der didaktischen Konzeption, der Fokus auf der fallbasierten (problemorientierten) Vorgehensweise liegen (Clark, Mayer 2002), da sowohl anwendbares Wissen und flexible Strategien vermittelt, als auch die Entwicklung von Entscheidungskompetenz unterstützt werden soll und das Gelernte einfach in den klinischen Alltag übertragen werden muss. Dabei ist es wichtig, zu identifizieren, welche Informationen die Basis chirurgischer Entscheidungen darstellen und wie

sie zu gewichten sind. Die Fähigkeiten der Lernenden, Diagnose und Therapieentscheidungen zu treffen, sollen durch die Präsentation realer Fallbeispiele, der dort getroffenen Entscheidungen und daraus resultierenden Konsequenzen gefördert werden. Die Methode des problemorientierten Lernens findet sich in den letzten Jahren verstärkt in der klassischen medizinischen Ausbildung wieder. Aus diesen Gründen erscheint sie für die Konzeption computerbasierter chirurgischer Lernsysteme ebenfalls gut geeignet. Die Benutzer lernen anwendungsnah das Lösen von Aufgaben unter Auswahl zielführender Informationen bzw. das selbstständige Erstellen von Diagnosen, Therapieplanungen sowie die Durchführung der Therapie. Dafür sollten, neben exemplarisch konstruierten Fällen zur Verdeutlichung spezifischer Sachverhalte, aufbereitete reale Patientendaten (siehe Bild 2) zur Verfügung stehen, die neben anonymisierten persönlichen Informationen zum Patienten, seiner Anamnese, den Beschwerden und Labordaten auch komplexe diagnostische Daten wie z. B. 3D-Modelle der Patientenanatomie beinhalten. Die Lernenden sollten durch konsekutiv angelegte Aufgaben (z. B. Planung eines Zugangsweges, bei onkologischen Fällen die Einschätzung der Infiltration anatomischer Strukturen) dazu angeleitet werden, sich den gesamten patientenbezogenen Prozess zu erarbeiten, über benötigte Informationen und deren Quellen zu entscheiden und dabei auch verbundene Kosten (z. B. bei Labortests oder Röntgenuntersuchungen) im Blick zu behalten. Zu jedem Aufgabenschritt sollte es ihnen möglich sein, Hilfestellungen (ggfs. unterschiedlicher Intensität) zu erhalten. Darüber hinaus sollte kleinschrittig und nach übergeordneten Abschnitten eine Rückmeldung über das Ergebnis der Aufgabenbearbeitung in Form von Expertenkommentaren erfolgen. Abschließend können nach der Bearbeitung des Falls Informationen zum Verlauf der realen Behandlung bzw. zum realen Eingriff und dem nachfolgenden Rehabilitationsprozess angeboten werden. Diese runden den Fall ab, er wirkt dadurch glaubwürdiger und authentischer und unterstützt die Ausbildung eines ganzheitlichen Verständnisses bei den Lernenden. Die Abdeckung eines möglichst repräsentativen Spektrums ist im Rahmen der Fallauswahl und -aufbe-

ereitung wichtig. Zum Einen sollten Standardfälle in verschiedenen Ausprägungen bearbeitet werden, zum Anderen sollten jedoch die besonderen Möglichkeiten des computerunterstützten Trainings genutzt werden, um den Lernenden seltene, an ihrer klinischen Ausbildungsstelle kaum erlebbare Fallbilder zu vermitteln.

### Multimediaeinsatz

Da es sich bei der Chirurgie um ein sehr praktisches Anwendungsgebiet handelt, ist eine Ergänzung der lehrbuchbasierten Stoffvermittlung durch die Vermittlung praktischen Wissens besonders wichtig. Neben der konventionellen Ausbildung in Form der Anleitung durch erfahrene Chirurgen können OP-Techniken, Instrumentenhandhabung und das Vorgehen bei der Planung und Durchführung von Eingriffen teilweise auch computerbasiert mit Hilfe von Animationen, Videos und interaktiven (manipulierbaren) 3D-Modellen bzw. Hands-on-Simulatoren realitätsnah, anschaulich und effektiv vermittelt werden.

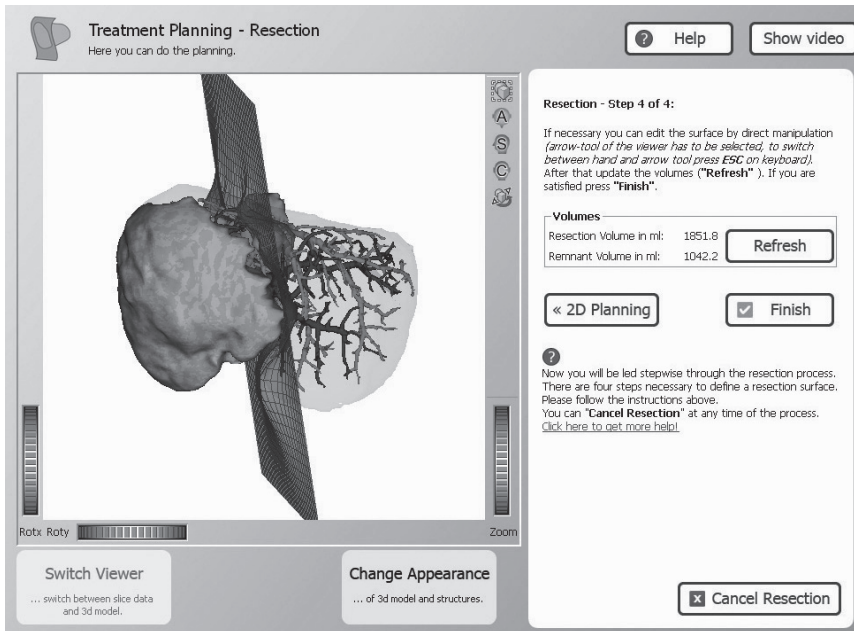
Für die Integration multimedialer Elemente in chirurgische Ausbildungs- und Trainingssysteme gelten die allgemeinen Richtlinien für den Multimediaeinsatz in Lernangeboten (Clark, Mayer 2002, Niegemann et al. 2004). Besonderes Potential für die Vermittlung chirurgischen Wissens besitzt der Einsatz (interaktiver) Animationen, medizinischer 3D-Modelle (siehe Bild 2) und haptischer Operationssimulatoren. **Animationen**, als graphische Darstellung und zeitliche Veränderung verstärkende Verdeutlichung komplexer Zusammenhänge, eignen sich beispielsweise zur Heranführung an neue Trainingsfälle, als Hilfe bei der Exploration interaktiver Modelle (z. B. Rotation, Zoomen an das OP-Gebiet) oder zur automatischen Positionierung des Modells, um relevante Strukturen gut sichtbar zu präsentieren. Interaktive Animationen bieten dem Nutzer die Möglichkeit, in eine Animation einzugreifen, beispielsweise das animierte 3D-Modell selbst zu explorieren oder Visualisierungsparameter zu ändern (Muehler 2010). **Medizinische 3D-Modelle** der Patientenanatomie dienen in vielen Systemen als Basis für das Training. Mit ihrer Hilfe soll die Anatomie beurteilt oder das Training bzw. die Planung eines Eingriffs durchgeführt werden. In diesem Zusammenhang

sollten im Hinblick auf die Bedienbarkeit und Akzeptanz des Lernsystems insbesondere die Interaktionsmöglichkeiten mit den Daten gut beschrieben werden, eine intuitive Bedienbarkeit (z. B. durch chirurgisch erwartungskonforme Bedienlogik) ist anzustreben. Interaktiv manipulierbare 3D-Modelle finden u. a. in **haptischen Operationssimulatoren** (z. B. für das Training der Fertigkeiten bei laparoskopischen Eingriffen) Einsatz, können aber auch zur reinen webbasierten Veranschaulichung oder in Simulatoren für Operationsplanungssysteme genutzt werden.

### 4.4 Inhalte und Expertenwissen

Innerhalb der bzw. über die fallbasierten Elemente hinaus ist es notwendig, in computerunterstützten chirurgischen Ausbildungssystemen auch lernmotivierende sowie **theoretisches Wissen** vermittelnde Komponenten (z. B. bzgl. grundlegender Operations- und Anatomievarianten oder Zugangswege) in das System zu integrieren. Die Wissenskomponenten sollten nicht nur wie Lehrbücher Texte und Bilder beinhalten, sondern zielführend multimedial, beispielsweise mit Hilfe interaktiver (3D-) Modelle, aktiv theoretisches Wissen vermitteln. Durch die Vermittlung von für die spezifische Lernaufgabe relevantem Hintergrundwissen wird eine Verbindung zwischen der Lernaufgabe und dem vorhandenen Wissen der Lernenden geschaffen und somit die Bildung eines übergeordneten mentalen Einordnungsrahmens unterstützt.

Zur Vermittlung von **Entscheidungsübergängen** ist die Einführung von Fallvarianten sinnvoll. Zu ausgewählten Fällen werden Varianten mit geringfügigen Abweichungen (z. B. in der Anatomie, der Lage und Größe pathologischer Veränderungen) erstellt, die zu einer anderen Therapieentscheidung bzw. einem anderen Vorgehen führen. So wird verdeutlicht, dass nur kleine Abweichungen der Gegebenheiten eines Falls die Wahl der Therapie signifikant beeinflussen können. Diese Präsentation von Differentialtherapien sollte im Zusammenhang mit dem Originalfall erfolgen (Cordes et al. 2008). In chirurgischen Trainingssystemen sollte versucht werden vor allem auch **das im-**



**Bild 2:** LiverSurgeryTrainer – Trainingssystem für die computergestützte Planung von Eingriffen an der Leber. Das 3D-Modell der Leber, des Tumors (gelb) und der Lebergefäße (blau) wurde aus realen Patientendaten (computertomographische Schichtbilder) erstellt. Die Resektionsebene (rot) trennt das vom Tumor befallene vom gesunden Gewebe. Es können die Konsequenzen der Operation auf die Gefäßversorgung eingeschätzt werden ([www.liversurgerytrainer.de](http://www.liversurgerytrainer.de)).

**plizite Wissen der Experten** zu vermitteln. Dabei handelt es sich um komplexes strategisches Wissen, Erfahrungen und Entscheidungsregeln des Experten bei der Diagnose bzw. Therapieplanung und -durchführung. Dieses Wissen ist nicht offensichtlich und daher schwer verbalisierbar bzw. spezifizierbar. Basierend auf unseren Erfahrungen sind wir der Meinung, dass vor allem mit Hilfe der szenariobasierten Entwicklung (siehe Abschnitt 4.5) Diskussionen angeregt und darin Zusammenhänge bzw. Hintergrundüberlegungen identifiziert werden können, die deutlich über die Erkenntnisse alleinigen Nachfragers hinausgehen. Die Szenarien haben die medizinischen Partner in unseren Projekten angeregt, sich in spezielle Situationen hineinzusetzen und vor allem auch untereinander über Erfahrungen und Handlungshintergründe zu diskutieren. Das extrahierte Expertenwissen sollte zur Vermittlung von Grundlagenkenntnissen dienen, aber den Lernenden auch bei Entscheidungen unterstützen. Ein Vergleich des Planungs- bzw. virtuellen Operationsergebnisses des Lernenden mit dem der Experten bietet sich an. Dabei sollten immer mehrere Expertenvorschläge und Meinungen präsentiert werden, um die Bandbreite des möglichen chirur-

gischen und therapeutischen Vorgehens zu vermitteln.

#### 4.5 Szenariobasierte Entwicklung

Für die benutzerzentrierte Entwicklung chirurgischer Ausbildungs- und Trainingssysteme schlagen wir das szenariobasierte Design nach Rosson und Carroll (Rosson & Carroll 2001) vor. Unter den Beschreibungen der szenariobasierten Entwicklung erscheint uns die in Benyon et al. (Benyon et al. 2005) am geeignetsten, weil sie eine schrittweise Verfeinerung und Konkretisierung beinhaltet. Die Konkretisierung mündet schließlich in (UML) Use Cases und stellt damit den Bezug zum klassischen Software Engineering dar. Benyon et al. unterscheiden vier verschiedene Typen von Szenarien, die in verschiedenen Stadien im Designprozess Anwendung finden: User Stories, Conceptual Scenarios, Concrete Scenarios, Use Cases. Die Spezifikation auf Basis natürlichsprachlicher Szenarien schafft, im Gegensatz zur Präsentation von Workflows oder Use Cases, eine bessere gemeinsame Kommunikationsbasis zwischen Entwicklern und Ärzten und ermöglicht z.B. die anwendernahe Entwicklung von Software.

Durch das iterative Vorgehen entsteht eine Vielzahl an Dokumenten, Anmerkungen und überarbeiteten Versionen. Diese müssen zur sinnvollen Unterstützung des Entwicklungsprozesses effizient verwaltet werden. Dazu ist es wichtig, Redundanzen in den Szenarien zu minimieren, Abhängigkeiten zwischen einzelnen Szenarien deutlich zu machen und, um den Entwicklungsprozess der Szenarien nachvollziehbar zu gestalten, auch Änderungen und Anmerkungen zu verwalten. Die Verknüpfung mit visuellen Komponenten ist bei chirurgischen Systemen von großer Bedeutung. Die Diskussion der Szenarien hat sich für das Verständnis des klinischen Workflows, das Design der Trainings- und Planungsschritte sowie für die Auswahl einer repräsentativen Menge von Fällen und die Definition der für jeden Fall benötigten relevanten Informationen als hilfreich erwiesen (Cordes et al. 2009).

#### 4.6 User Interface Design

Um eine Software benutzungsfreundlich zu gestalten, existieren eine Reihe genereller Entwurfs- und Gestaltungsprinzipien (Shneiderman & Plaisant 2009), die Richtlinien u.a. für die Gestaltung von Benutzeroberflächen, Regel für die Navigation, Gliederung des Bildschirms, Aufmerksamkeitssteuerung und Datenein- bzw. -ausgabe liefern. Spezielle, aus der Erfahrung medizinischer Fachnutzer resultierende Gestaltungs- und Interaktionskonventionen (z. B. bzgl. der Verwendung spezieller Icons und Farben oder Menülogiken) sollten je nach Gebiet und Nutzergruppe im Sinne der intuitiven Benutzbarkeit und der Akzeptanz zusätzlich mit in die Systemgestaltung einbezogen werden.

Auf Basis der Eigenschaften der Nutzergruppe der Leberchirurgen und der dort häufig wiederkehrenden Interaktionsaufgaben (z. B. Blättern durch Schichtbilddaten, 3D-Exploration, Exploration einzelner Strukturen, Standardeinstellungen für Visualisierungen) wurden aus den Ergebnissen der Evaluation des LiverSurgeryTrainers, eines Systems für das Training der Planung leberchirurgischer Eingriffe (Cordes et al. 2007), und zahlreichen Diskussionen mit chirurgischen Experten Grundregeln für das Design der Benutzeroberfläche entsprechender



chirurgischer Anwendungen in diesem Bereich aufgestellt: Bedienpanels auf das unbedingt Notwendige reduzieren, vorrangig visuelle Elemente einsetzen, große Bedienelemente verwenden, Nutzungsfreiheitsgrade reduzieren und dafür mehr Führung bieten. Unter anderem aus diesen Maßgaben aus dem (leber-)chirurgischen Bereich lassen sich für das User Interface übergreifender chirurgischer Trainingssysteme folgende Schlussfolgerungen ableiten: Es bietet sich eine Gliederung des Trainingsprozesses in mehrere Teilschritte an, in denen im Rahmen des User Interfaces nur die für den jeweiligen Teilschritt notwendigen Funktionen zur Verfügung stehen. Die Benutzer werden so durch das Training geleitet, sollten aber trotzdem die Freiheit zum selbstgesteuertem Lernen haben. Es sollten gut identifizier- und differenzierbare Steuerelemente verwendet werden, die neben dem Titel auch eine kurze Beschreibung ihrer Funktion und idealerweise auch ein Icon beinhalten. Nach Möglichkeit ist dabei auf Bedienelemente und Icons mit bzgl. der intendierten Nutzergruppe erwartungskonformer Bedienlogik zurückzugreifen.

Die Navigation und die Interaktion mit ggfs. eingebundenen 3D-Modellen sollte durch klar erkennbare Bedienelemente unterstützt werden, da je nach Nutzergruppe und gerade bei Novizen kaum Erfahrungen mit entsprechenden Interaktionsschritten vorhanden sind. Benötigte Interaktionselemente sollten in direktem Zusammenhang mit dem Modell als Interaktionsgegenstand angeboten werden, damit der Nutzer seinen Fokus nicht verlagern muss und eine intuitive mentale Zuordnung ermöglicht wird (Muehler et al. 2008).

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Um effektives und effizientes Lernen zu ermöglichen, ist eine gut durchdachte Konzeption des Lernsystems notwendig. Es ist wichtig, den Anwendern möglichst präzise und verständlich zu vermitteln, was sie zur Erreichung eines bestimmten Zieles mit dem Angebot lernen bzw. trainieren können, welche Möglichkeiten und Modalitäten ihnen dafür zur Verfügung stehen, wie der Lern- bzw. Trainingsprozess abläuft und wo sie ggf.

Hilfen finden. Die Verwendung attraktiver visueller Komponenten und angemessener multimedialer Inhalte spielt eine wichtige Rolle. Weiterhin muss das System das Vertrauen der Benutzer in Bezug auf die Korrektheit und Relevanz der Inhalte gewinnen.

Wir haben Vorschläge für Leitlinien dargestellt, die zukünftig Entwickler chirurgischer Ausbildungs- und Trainingssysteme bei deren Konzeption und Umsetzung unterstützen sollen. In den Leitlinien werden Empfehlungen für den Einsatz von Instruktionsdesignmodellen, fallbasiertem Lernen und Multimediaeinsatz gegeben. Besonders wichtig ist die Integration der Inhalte und des Expertenwissens in Abhängigkeit von der gewählten didaktischen Konzeption. Für das Training sollten, neben exemplarisch konstruierten Fällen zur Verdeutlichung spezifischer Sachverhalte, vor allem aufbereitete reale Patientendaten zur Verfügung stehen, die neben anonymisierten persönlichen Informationen zum Patienten, seiner Anamnese, den Beschwerden und Laboraten je nach Fachdisziplin auch komplexe diagnostische Daten wie z.B. 3D-Modelle der Patientenanatomie und Laborbefunde beinhalten. Bei der interdisziplinären Entwicklung von Lernsystemen ist, nicht nur zur Abstimmung der Lerninhalte, eine gemeinsame Kommunikationsbasis zwischen technischen Entwicklern und medizinischen Experten dringend erforderlich. Diese kann z. B. durch eine szenariobasierte Gestaltung des Entwicklungsprozesses geschaffen werden. Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Sicherstellung der Systemgebrauchstauglichkeit ist die Beachtung allgemeiner Regeln des User-Interface Designs sowie der anwenderspezifischen Anforderungen beim Entwurf und bei der Umsetzung der Mensch-System-Interaktion.

Die Leitlinien spiegeln zu einem großen Teil Erfahrungen wieder, die bei der Entwicklung disziplinspezifischer Lernsysteme gesammelt wurden und erheben daher keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit oder Ausschließlichkeit. Sie enthalten bisher keine Aussagen zur Planung und Durchführungen der Evaluation chirurgischer Ausbildungs- und Trainingssysteme. Dies ist allerdings ein wichtiger Aspekt, um die nachhaltige Nutzbarkeit der Lernsysteme sicherzustellen und einen größtmöglichen Lernerfolg zu erzielen. Deshalb

ist die Integration von Empfehlungen zur Evaluation ein Bestandteil aktueller und zukünftiger Arbeiten.

## Danksagung

Die vorgestellten Leitlinien sind im Rahmen des vom BMBF geförderten SOMIT-Rahmenprogramms entstanden – vor allem in den Verbundvorhaben FUSION und OrthoMIT sowie im SOMIT-Querschnittsprojekt „Ausbildung und Training“. Wir danken allen Partnern für die Einbringung ihrer Erfahrungen, insbesondere Alexandra Stier und Dr. Andreas Zimolong.

## Literatur

- Benyon D.; Turner P.; Turner S.: Designing Interactive Systems. Addison Wesley, 2005.
- Brown, J.S.; Collins, A.; Duguid, P.: Situated cognition and the culture of learning. In: Educational Researcher, 18, S. 32–41, 1989.
- Clark, R.; Mayer, R.: E-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning, Jossey-Bass Inc., 2002.
- Cook, D.A.; Dupras, D.M.: A practical guide to developing effective web-based learning. In: Journal of General Internal Medicine, 19, S. 698–707, 2004.
- Cordes, J.; Mühler, K.; Oldhafer, K.J.; Stavrou, G.; Hillert, C.; Preim, B.: Evaluation of a Training System of the Computer-based Planning of Liver Surgery, In: CURAC, S. 151–154, 2007.
- Cordes, J.; Dornheim, J.; Preim, B.: Szenariobasierte Entwicklung von Systemen für Training und Planung in der Chirurgie. In: i-com 1/2009, S. 5–12, 2009.
- Cordes, J.; Hintz, K.; Franke, J.; Bochwitz, C.; Preim, B.: Conceptual Design and Prototyping Implementation of a Case-based Training System for Spine Surgery. In: Proc. of 1st International eLBA Science Conference, S. 169–178, 2008.
- Dodge, B.: Some Thoughts About WebQuests. In: The Distance Educator, 1(3), Seiten 12–15, 1995.
- Hassenzahl, M.: The thing and I: understanding the relationship between user and product. In: Funology: From Usability to Enjoyment. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, S. 31–42, 2003.
- van Merriënboer, J.J.G.; Clark, R.E.; de Croock, M.B.M.: Blueprints for Complex Learning: The 4C/ID-Model. In: Educational Technology Research & Development, 50(2), S. 39–64, 2002.
- Muehler, K.; Cordes, J.; Tietjen, C.; Preim, B.: Richtlinien für die Gestaltung chirurgischer

- Planungs- und Trainings-Software. In: CURAC 2008, S. 241–242, Leipzig, 2008.
- Muehler, Konrad: Animationen und Explorations-techniken zur Unterstützung der chirurgischen Operationsplanung, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Dissertation, 2010.
- Niegemann, H.; Hessel, S.; Hochscheid-Mauel, D.; Aslanski, K.; Deimann, M.; Kreuzberger, G.: Kompendium E-Learning, Springer Verlag, 2004.
- Pflesser, B.; Leuwer, R.; Tiede, U.; Höhne, K.H.: Planning and rehearsal of surgical interventions in the volume model. In: Studies in health technology and informatics 70, S. 259–264, 2000.
- Radermacher, K., Wu, T., Zimolong, A., Cinquin, Ph., Grange, S., Niethard, F.U., Rau, G.: Netz-basierte Module für Ausbildung, Training und

- Dokumentation in der Orthopädischen Chirurgie: VOEU. In: Zeitschrift für Biomedizinische Technik, Band 46, Ergänzungsband 1, S. 364–365, 2001.
- Rosson, M. B.; Carroll, J. M.: Usability Engineering: Scenario-Based Development of Human-Computer Interaction. Morgan Kaufmann, 2001.
- Ruf, D.; Berner, M.M.; Kriston, L.; Härter, M.: E-Learning – eine Wichtige Unterstützung in der Medizinischen Aus-, Fort- und Weiterbildung? In: Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 51( 9), S. 1061–1069, 2008.
- Shneiderman, B.; Plaisant C.: Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction, Addison-Wesley Longman, Amsterdam, 2009.

- Simbionix: Lap Mentor Product Brochure. <http://www.simbionix.com>. Version: 2009. – abgerufen am 25.11.2009.
- Wu, T.; Nguyen, D.; Recknagel, B.; Haase, K.; Conze, J.; Ropers, S.; Ohnsorge, J.A.K.; Radermacher, K.: Integrating CAOS in orthopaedic education for novice surgeons. In: Computer assisted orthopaedic surgery, 4th Annual Meeting of CAOS International Proceeding, S. 273–274, 2004.
- Wu, T.; Zimolong, A.; Schiffers, N.; Radermacher, K.: A Software Framework for the Development of Web-based Medical Education Using Learning Object Classes. Medical Informatics and the Internet in Medicine, 31(1), S. 9–22, 2006.



1



2



3

**1 Jeanette Mönch** hat 2005 ihr Computervisualistikstudium abgeschlossen. Sie ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Arbeitsgruppe Visualisierung der Fakultät für Informatik – Universität Magdeburg und arbeitet in einem BMBF-geförderten Projekt im Bereich des Trainings für die Leberchirurgie. Ihr Forschungsgebiet sind Strategien für die Entwicklung und Erprobung chirurgischer Lern- und Trainingssysteme.  
E-Mail: [jeanette.moench@isg.cs.uni-magdeburg.de](mailto:jeanette.moench@isg.cs.uni-magdeburg.de)

**2 Dr.-Ing. Wolfgang Lauer** hat nach seinem Maschinenbaustudium am Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik der RWTH Aachen im Bereich robotischer Unterstützungssysteme für die Chirurgie promoviert. Seit 2005 leitet er am Lehr-

stuhl für Medizintechnik der RWTH Aachen den Forschungsbereich „Medizinsystemergonomie und -sicherheit“. Dabei beschäftigt er sich u.a. mit der Entwicklung von Ausbildungs- und Trainingssystemen für die computerunterstützte Chirurgie.  
E-Mail: [lauer@hia.rwth-aachen.de](mailto:lauer@hia.rwth-aachen.de)

**3 Prof. Bernhard Preim** hat nach dem Informatikstudium im Bereich Computergraphik promoviert. Seit 2003 ist er Professor für Visualisierung an der Fakultät für Informatik der Universität Magdeburg. Er forscht auf den Gebieten Computer-gestützte Chirurgie, Computer-Based Training und Medizinische Visualisierung. Er ist Sprecher der Fachgruppe „Visual Computing in der Medizin“ der Gesellschaft für Informatik.  
E-Mail: [preim@isg.cs.uni-magdeburg.de](mailto:preim@isg.cs.uni-magdeburg.de)