Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fakultät für Informatik
Institut für Simulation und Graphik

Szenariobasierte Konzeption, Entwicklung und Evaluierung chirurgischer Trainingssysteme

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktoringenieurin (Dr.-Ing.)

angenommen durch die Fakultät für Informatik
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

von: Dipl.-Ing. Jeanette Mönch, geb. Cordes
geboren am: 4. Oktober 1980
in: Magdeburg

Gutachter: Prof. Dr. Bernhard Preim
Prof. Dr. Winfried Marotzki
Prof. Dr. Marc Hassenzahl

Magdeburg, 08. Juli 2011

Zusammenfassung

Die klassische medizinische Aus- und Weiterbildung wird zunehmend durch den Einsatz computergestützter Ausbildungs- und Trainingssysteme ergänzt. Im chirurgischen Bereich dienen sie beispielsweise zur Vermittlung anatomischer Grundlagen sowie zum Training von Therapieentscheidungen und deren Durchführung.

Eigene Erfahrungen bei der Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme wurden während der Konzeption und Umsetzung des LIVERSURGERYTRAINERS und des SPINESURGERYTRAINERS gesammelt. Die Konzeption und Entwicklung beider Systeme wird in dieser Arbeit beschrieben. Dabei wird vor allem auf die didaktische Konzeption und die szenariobasierte Vorgehensweise eingegangen.

Ziel dieser Arbeit war der Entwurf von Empfehlungen für die Konzeption, Entwicklung und Evaluierung chirurgischer Lernsysteme. Die Empfehlungen vereinen eigene Erfahrungen bei der Entwicklung dieser Systeme sowie existierende Leit- und Richtlinien. Diese sind auf die speziellen Anforderungen der chirurgischen Lernsysteme und ihrer Anwender zugeschnitten. Sie sollen anderen Entwicklern als Unterstützung für die Auswahl geeigneter Methoden zur Konzeption und Entwicklung chirurgischer Ausbildungs- oder Trainingssysteme und deren Nutzung dienen. Der Schwerpunkt liegt auf dem Einsatz des szenariobasierten Designs, dem Einsatz didaktischer Konzepte und Modelle sowie dem fallbasierten Lernen.

Abstract

Computer-based training systems increasingly support the conventional medical education and further education. In the surgical field they are applied to convey anatomical basics or to train therapy decision making and treatment.

Own experiences during the development of surgical training systems were gained through the conception and implementation of LIVERSURGERYTRAINER and SPINESURGERYTRAINER. The conception and development of both systems is described in this paper, whereas the didactical concept and scenario-based design are in the focus.

The intention of this work was the blueprint of recommendations for the conception, development and evaluation of surgical e-learning systems. The recommendations combine own experiences during the development of surgical training systems as well as existing guidelines. They are adapted to the special requirements of surgical systems and their users. The recommendations shall help other developers to select appropriate methods for the conception and development of surgical education and training systems and to apply them. Essential aspects are the application of the scenario-based design, didactical conception and case-based learning

Danksagung

Zu Beginn möchte ich mich herzlich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Bernhard Preim bedanken. Er hat wesentlich zum Gelingen meiner Arbeit durch zahlreiche Ideen, Tipps und Anregungen beigetragen. Ebenso hat mich das einmalige Arbeitsklima zwischen den Kollegen in der Arbeitsgruppe jeden Tag aufs Neue motiviert. Vielen Dank für die vielen netten Gespräche und ablenkenden Teepausen. Außerdem möchte ich mich bei meinem Kollegen Konrad Mühler bedanken. Wir haben gemeinsam den LIVERSURGERYTRAINER entwickelt und er hat mir geduldig jederzeit bei Fragen hilfreich zu Seite gestanden.

Den klinischen Partnern im FUSION-Projekt, besonders Prof. Karl Oldhafer, Dr. Gregor Stavrou, Dr. Christian Hillert und Christoph Logge möchte ich für die tolle Zusammenarbeit, Bereitstellung der Falldaten und medizinische Unterstützung der Arbeit danken. MEVIS (sowohl MEVIS MEDICAL SOLUTIONS als auch FRAUNHOFER MEVIS) danke ich für die Zusammenarbeit im FUSION-Projekt und die Bereitstellung von MEVISLAB. Den am SOMIT-Querschnittsprojekt „Ausbildung und Training“ beteiligten Partnern, insbesondere Dr. Wolfgang Lauer, vielen Dank für die gute Zusammenarbeit und die gemeinsame Erstellung von Veröffentlichungen zu den Richtlinien.

Vielen Dank auch an die ehemaligen Diplomanden Katrin Hintz und Maik Mewes. Katrin Hintz hat entscheidend zur Entwicklung der ersten Version des SPINESURGERYTRAINERS beigetragen. In diesem Zusammenhang möchte ich mich auch bei den beteiligten klinischen Partner, Dr. Jörg Franke und Dr. Carsten Bochwitz, bedanken. Maik Mewes hat im Rahmen seiner Diplomarbeit die Techniken zur Fallauswahl evaluiert.

Herzlicher Dank geht an meine Familie, die mich mein Leben lang unterstützt hat. Meinem Mann Tobias und meiner Tochter Pauline möchte ich besonders dafür danken, dass sie immer für mich da sind.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**
1.1 Fragestellungen und Aufgaben der Arbeit 3
1.2 Aufbau der Arbeit 4

2 Grundlagen des e-Learnings **5**
2.1 Grundlagen des Lernens 5
2.1.1 Lernparadigmen 6
2.1.2 Lernmotivation 9
2.1.3 Gedächtnis 11
2.1.4 Problemorientiertes Lernen 12
2.2 Instruktionsdesignmodelle 14
2.2.1 Ur-Modell von Gagné 14
2.2.2 Cognitive Apprenticeship 16
2.2.3 Zielorientiertes Lernen 17
2.2.4 Vier-Komponenten-Instruktionsdesign-Modell 20
2.3 e-Learning 24
2.3.1 Vorteile und Erfolgsfaktoren 24
2.3.2 Lernmodelle und -konzepte 27
2.3.3 Arten interaktiver Lernsysteme 29
2.3.4 Einsatz von Multimedia für Lernzwecke 33
2.3.5 Techniken für die Fallauswahl 37
2.3.6 Feedback und Lernerfolgskontrolle 39
2.3.7 Integration von Hilfen 41
2.3.8 Personalisierung interaktiver Lernsysteme 42
2.4 Richtlinien für die Entwicklung von e-Learning Angeboten 43
2.5 Zusammenfassung und Diskussion 45

3 Grundlagen interaktiver Systeme **47**
3.1 Szenariobasiertes Design 48
3.1.1 Szenariobasiertes Usability Engineering nach Rosson u. Carroll [2001] 50
3.1.2 Szenarien nach Benyon u. a. [2005] 51
3.1.3 Vergleich mit anderen Methoden 53
3.2 Analyse der Ausgangsbedingungen 55
3.2.1 Nutzeranalyse 55
3.2.2 Definition und Strukturierung von Lernzielen 56

3.3 Requirements Engineering . . . 58
3.3.1 Ermittlung des Systemkontexts . . . 59
3.3.2 Definition der Anforderungen . . . 59
3.3.3 Dokumentation und Priorisierung der Anforderungen . . . 61
3.4 Richtlinien interaktiver Systeme . . . 61
3.5 Usability Evaluierung im Bereich interaktiver Lernsysteme . . . 63
3.5.1 Richtlinienbasierte Evaluierung . . . 65
3.5.2 Formale Evaluierung . . . 66
3.5.3 Inspektionsmethoden . . . 67
3.5.4 Usability Tests . . . 68
3.5.5 Fragebogenbasierte Evaluierung . . . 68
3.6 Zusammenfassung und Diskussion . . . 70

4 Aus- und Weiterbildung in der Medizin 73
4.1 Klassische Aus- und Weiterbildung . . . 73
4.1.1 Ausbildung . . . 73
4.1.2 Weiter- und Fortbildung . . . 74
4.1.3 Besonderheiten der Chirurgie . . . 76
4.1.4 Ärztliche Aus- und Weiterbildung anderer Länder . . . 77
4.2 Problemorientiertes Lernen in der Medizin . . . 79
4.3 Computerbasierte medizinische Aus- und Fortbildungssysteme . . . 80
4.3.1 Multimediale Handbücher und elektronische Atlanten . . . 81
4.3.2 Falldatenbanken . . . 83
4.3.3 Interaktive Kurse . . . 84
4.3.4 Chirurgische Trainingssysteme . . . 87
4.3.5 Chirurgiesimulatoren . . . 87
4.3.6 Webbasierte e-Learning Angebote . . . 89
4.4 Richtlinien in der Medizin . . . 90
4.5 Zusammenfassung und Diskussion . . . 91

5 Szenariobasierte Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme 93
5.1 Verwaltung der Szenarien . . . 94
5.1.1 Konzeption eines Ablaufs für die Erstellung und Verwaltung der Szenarien . . . 96
5.2 Empfehlungen für die Nutzung von Szenarien . . . 101
5.2.1 User Stories . . . 102
5.2.2 Conceptual Scenarios . . . 105
5.2.3 Concrete Scenarios . . . 105
5.2.4 Use Cases . . . 106
5.3 Zusammenfassung und Diskussion . . . 107

6 Der LIVERSURGERYTRAINER 109
6.1 Medizinischer Hintergrund . . . 109
6.1.1 Lebertumore . . . 110

6.1.2 Leberlebendspende . . . 113
6.2 Computerunterstützung für Planung und Training . . . 114
6.2.1 Computergestützte Planung leberchirurgischer Eingriffe . . . 114
6.2.2 Computergestütztes Training leberchirurgischer Eingriffe . . . 115
6.3 Konzeption des LIVERSURGERYTRAINERS . . . 118
6.3.1 Analyse der Ausgangsbedingungen . . . 118
6.3.2 Szenariobasierte Entwicklung . . . 122
6.3.3 Fälle und Daten . . . 124
6.3.4 Trainingsschritte . . . 126
6.3.5 4C/ID-Modell . . . 133
6.3.6 Personalisierung des Trainings . . . 137
6.4 Evaluierung des LIVERSURGERYTRAINERS . . . 138
6.4.1 Formative Evaluierung eines ersten Prototyps . . . 138
6.4.2 Informelle Evaluierung des überarbeiteten Prototyps . . . 141
6.4.3 Summative Evaluierung . . . 147
6.5 Zusammenfassung und Diskussion . . . 148

7 Der SPINESURGERYTRAINER 149
7.1 Medizinischer Hintergrund . . . 149
7.1.1 Erkrankungen der Wirbelsäule . . . 150
7.1.2 Therapieformen . . . 152
7.2 Verwandte Arbeiten . . . 154
7.2.1 Computergestützte Planung orthopädischer Eingriffe . . . 154
7.2.2 e-Learning in der Orthopädie . . . 154
7.3 Konzeption des SPINESURGERYTRAINERS . . . 157
7.3.1 Analyse der Ausgangsbedingungen . . . 157
7.3.2 Szenariobasierte Entwicklung . . . 159
7.3.3 Fälle und Daten . . . 161
7.3.4 Trainingsschritte . . . 162
7.3.5 4C/ID-Modell . . . 167
7.4 Zusammenfassung und Diskussion . . . 168

8 Empfehlungen für die Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme 169
8.1 Elemente chirurgischer Trainingssysteme . . . 170
8.2 Erfolgsfaktoren chirurgischer Trainingssysteme . . . 171
8.3 Didaktische Konzeption . . . 172
8.3.1 Didaktische Konzepte . . . 172
8.3.2 Didaktische Modelle . . . 173
8.3.3 Fallbasiertes Lernen . . . 173
8.3.4 Multimediaelemente . . . 174
8.3.5 Hilfefunktionen . . . 177
8.4 Entwicklungsprozess . . . 177
8.4.1 Einsatz szenariobasierter Entwicklung . . . 177
8.4.2 Zielgruppenanalyse . . . 177

8.4.3 Lernziele, Lerninhalte und Expertenwissen 179
8.4.4 Integration theoretischer Komponenten und Fallvariationen 180
8.4.5 User Interface Design 180
8.4.6 Personalisierung 181
8.4.7 Bewertung des Lernerfolgs 182
8.5 Evaluierung 183
8.5.1 Evaluierung des Gesamtkonzepts bzw. der Realisierung 183
8.5.2 Evaluierung der Inhalte 184
8.5.3 Evaluierung der Benutzung 185
8.6 Generalisierbarkeit der Empfehlungen 185
8.7 Zusammenfassung und Diskussion 186

9 Zusammenfassung und Ausblick 189
9.1 Ausblick 190
9.1.1 Szenariobasierte Entwicklung 190
9.1.2 Erweiterung der Empfehlungen 190

Literaturverzeichnis 193

1 Einleitung

In der chirurgischen Ausbildung werden theoretische 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 seine Studenten bzw. Assistenten an. Er kontrolliert und korrigiert ggf. das Vorgehen. Im Berufsalltag spielt 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 Wirbelsäulenchirurgie steht der Prozess der Therapiefindung im Mittelpunkt. Eine geeignete Therapie wird nicht allein durch den radiologischen Befund und die neurologischen Ausfallerscheinungen bestimmt. Es wird zusätzlich das individuelle Beschwerdebild und das soziale Umfeld des Patienten einbezogen.

Ausbildung als Vorbereitung auf das chirurgische Aufgabenspektrum und *Training* als Unterstützung spezifischer Fertigkeiten müssen daher sowohl komplexe kognitive als auch motorische Aspekte einschließen. Insbesondere das Treffen von Therapie- und Handlungsentscheidungen auf Basis, teilweise begrenzter, multimodal vorliegender Informationen stellt eine große Herausforderung für Novizen dar. Ein Arzt in der Ausbildung wird, je nach Ort und Profil der ausbildenden Kliniken, im Rahmen seiner praktischen Ausbildung kaum mit seltenen Krankheitsbildern und insbesondere neuen Therapieverfahren konfrontiert. Die praktische Ausbildung ist damit durch das vorhandene Fallspektrum eingeschränkt.

Computergestützte chirurgische Ausbildungs- und Trainingssysteme ergänzen und unterstützen in den letzten Jahren zunehmend die klassische medizinische Aus- und Weiterbildung. Sie sind bisher allerdings weder standardmäßig in die klassischen Lehrpläne integriert, noch ist ihre Nutzung ein fester Bestandteil der Facharztausbildung oder Fortbildung. Ihre Nutzung erfolgt momentan überwiegend freiwillig. Die Ausbildungs- und Trainingssysteme dienen im Bereich der Chirurgie 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. Die Systeme ermöglichen es (angehenden) Chirurgen, sich mit neuen Vorgehensweisen und technischen Möglichkeiten sowie seltenen Krankheitsbildern vertraut zu machen.

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 allgemeiner Leit- und Richtlinien auf chirurgische Lernsysteme und

auf deren Anwender zugeschnitten vereinen. Daher werden im Rahmen dieser Arbeit, basierend auf eigenen Erfahrungen, Empfehlungen gegeben, die die Auswahl geeigneter Methoden zur Konzeption und Entwicklung chirurgischer Ausbildungs- oder Trainingssysteme und deren Einsatz unterstützen sollen.

Die Arbeiten zum LIVERSURGERYTRAINER und zu den Empfehlungen wurden im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundvorhabens FUSION (Future Environment for Gentle Liver Surgery Using Image-Guided Planning and Intra-Operative Navigation) und des konsortienübergreifenden Querschnittsprojekts „Ausbildung und Training“ durchgeführt. Beide Projekte werden innerhalb des Forschungsprogramms „Schonendes Operieren mit innovativer Technik“ (SOMIT) gefördert. Neben dem Verbundvorhaben FUSION, das sich mit Weichgewebschirurgie, speziell Leberchirurgie beschäftigt, gibt es zwei weitere Verbünde (COHS und ORTHOMIT), die neue Techniken für die Orthopädie und Augenchirurgie entwickeln und klinisch erproben.

Das Verbundvorhaben FUSION verfolgt die Entwicklung neuer Operationsverfahren für eine schonende Leberchirurgie. Neben intelligenten Instrumenten (z.B. ein Laserskalpell, das automatisch große Gefäße erkennt und ein haptisches Feedbacksystem, das den Chirurgen bei Knopflochoperationen ihren Tastsinn zurück gibt) werden neue Systeme für die patientenindividuelle Planung und Therapie entwickelt. Es wird außerdem ein fallbasiertes Lernsystem, der LIVERSURGERYTRAINER, für das Training computergestützter Therapieplanung für Eingriffe an der Leber entwickelt. Der Schwerpunkt des Systems liegt auf dem Training computergestützter Therapieplanung für die Resektion und Ablation von Tumoren in der Leber. Außerdem werden die chirurgische Anatomie und die Entscheidungsfindung zu einer geeigneten Therapiemaßnahme trainiert.

Das Ziel des Querschnittsprojekts „Ausbildung und Training“ ist die Erstellung und Evaluierung einer disziplinübergreifenden Trainings- und Fallinformations-Plattform für die ärztliche Aus- und Weiterbildung am Beispiel der SOMIT-Disziplinen sowie ihre exemplarische Integration in die Ausbildungscurricula der beteiligten Projekte. In diesem Zusammenhang erfolgt die Spezifikation eines didaktischen Modells und von Empfehlungen für die Konzeption und Realisierung von Weiterbildungssystemen des chirurgisch-fachärztlichen Bereichs.

Parallel zu dieser Arbeit ist aus dem FUSION-Projekt eine weitere Dissertation hervorgegangen, die sich mit Animationen und Explorationstechniken zur Unterstützung der chirurgischen Operationsplanung beschäftigt [Mühler, 2010]. Außerdem basiert die vorliegende Arbeit auf Vorarbeiten von Bade [2008], der sich ebenfalls mit Aspekten der Visualisierung für die chirurgische Ausbildung und Interventionsplanung beschäftigt hat.

1.1 Fragestellungen und Aufgaben der Arbeit

Eine gut durchdachte Konzeption des Lernsystems notwendig, um den Lernenden effektives und effizientes Lernen zu ermöglichen. Es ist wichtig, den Anwendern möglichst präzise und verständlich zu vermitteln, was sie zur Erreichung eines bestimmten Zieles mit dem Angebot lernen oder trainieren können, welche Möglichkeiten und Modalitäten ihnen dafür zur Verfügung stehen, wie der Lern- bzw. Trainingsprozess abläuft und wo sie Hilfe 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. Bei der Aufbereitung der Lerninhalte spielt die didaktische Reduktion eine wichtige Rolle. Komplexe Sachverhalte müssen auf wesentliche Aspekte reduziert werden, um die Lernenden nicht zu überfordern.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Konzeption und die Umsetzung zweier chirurgischer Trainingssysteme (LIVERSURGERYTRAINER, SPINESURGERYTRAINER) beschrieben. Die dabei gemachten Erfahrungen dienen als Grundlage eines Vorschlages für Empfehlungen, die Entwickler chirurgischer Ausbildungs- und Trainingssysteme zukünftig bei der Konzeption und Umsetzung unterstützen sollen. Dabei sollen für folgende Aspekte Empfehlungen erstellt werden:

- Einsatz von didaktischen Konzepten und Modellen
- Einsatz von fallbasiertem Lernen
- Einsatz von Multimediaelementen
- Einsatz szenariobasierter Entwicklung
- Integration der Inhalte und des Expertenwissens
- Bewertung des Lernerfolgs

Diese Arbeit ist vorrangig im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion (MCI) bzw. an der Schnittstelle von computergestützter Chirurgie und Mensch-Computer-Interaktion angesiedelt. Dabei werden die oben genannten Anwendungsgebiete im Rahmen der MCI intensiv behandelt. In der computergestützten Chirurgie werden Fragestellungen aus dem Bereich der MCI bisher sehr wenig diskutiert.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist in acht Kapitel gegliedert. Nach der Beschreibung der Grundlagen wird auf die szenariobasierte Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme eingegangen. Anschließend werden zwei im Rahmen dieser Arbeit mitentwickelte Trainingssysteme beschrieben und aus diesen Erfahrungen der Versuch einer Generalisierung von Empfehlungen für die Konzeption und Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme gemacht.

Kapitel 2 geht auf die für diese Arbeit relevanten Grundlagen ein. Dabei werden zunächst die Grundlagen des Lernens betrachtet. Es werden allgemeine didaktische Modelle und Instruktionsdesignmodelle beschrieben und hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz in chirurgischen Trainingssystemen bewertet. Es werden Vor- und Nachteile des e-Learnings diskutiert und die unterschiedlichen Methoden, Konzepte und Arten erläutert. Im letzten Abschnitt werden allgemeine Aspekte der Entwicklung interaktiver Systeme und der Usability Evaluierung betrachtet.

Kapitel 3 beschreibt die klassische medizinische Aus-, Weiter- und Fortbildung und geht auf den Einsatz problemorientierten Lernens und computerbasierter medizinischer Aus- und Fortbildungssysteme ein. Es werden Beispiele der Systeme präsentiert und auf ihre didaktische Konzeption hin analysiert. Abschließend werden im Bereich der Medizin existierende Richtlinien vorgestellt.

Kapitel 4 erläutert ein Konzept zur Verwaltung bei der szenariobasierten Entwicklung und gibt Empfehlungen für die Nutzung von User Stories, Conceptual Scenarios, Concrete Scenarios und Use Cases im Entwicklungsprozess.

Kapitel 5 stellt die Konzeption und Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINERS, eines Trainingssystems für die präoperative Planung leberchirurgischer Eingriffe, vor. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Konzeption des Systems, wobei ausführlich auf die Umsetzung eines Instruktionsdesignmodells und auf den Einsatz des szenariobasierten Designs eingegangen wird. Abschließend werden die im Rahmen der Entwicklung durchgeführten Evaluierungen beschrieben.

Kapitel 6 beinhaltet die Konzeption und Entwicklung eines weiteren Trainingssystems. Der SPINESURGERYTRAINER wurde für das Training der Therapieplanung im Bereich der Wirbelsäulenchirugie entwickelt. Auch hier liegt der Fokus auf der didaktischen Konzeption und dem Einsatz der Szenarien bei der Entwicklung.

Kapitel 7 beschreibt die Generalisierung der während der Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINERS und des SPINESURGERYTRAINERS gemachten Erfahrungen. Es werden Empfehlungen abgeleitet, die Entwickler chirurgischer Ausbildungs- und Trainingssysteme unterstützen sollen. Dabei werden bereits existierende Leitlinien in die Empfehlungen einbezogen.

Kapitel 8 fasst die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Arbeiten bzw. neue Forschungsziele, die sich aus dieser Arbeit ergeben.

2 Grundlagen des e-Learnings

In diesem Kapitel wird zunächst auf die Grundlagen des Lernens eingegangen. Um ein Softwaresystem an die Anforderungen der Anwender anzupassen, ist es notwendig, auch die psychologischen Grundlagen des Lernens zu verstehen, um sie bei der Konzeption eines Trainingssystems berücksichtigen zu können. Eine wichtige Entscheidung ist die Wahl des Instruktionsdesignmodells, die im Anschluss beschrieben wird. Abschließend wird auf die Grundlagen von e-Learning im Allgemeinen eingegangen, wobei Vorteile und Erfolgsfaktoren sowie für diese Arbeit relevante Lernmodelle und Arten interaktiver Lernsysteme betrachtet werden. Auf webbasierte e-Learning Angebote wird der Vollständigkeit halber kurz eingegangen. Diese Systeme liegen nicht im Fokus dieser Arbeit. Deshalb ist deren Beschreibung auf einen kurzen Abschnitt beschränkt.

2.1 Grundlagen des Lernens

Die Psychologie betrachtet Lernen als einen Anpassungsprozess an eine sich ständig verändernde Umwelt. Durch das Lernen können sowohl erwünschte als auch unerwünschte Verhaltensweisen erworben werden, die im Gedächtnis gespeichert werden. Lernen bezieht sich auf die geistige Entfaltung, Erweiterung von Einsichten und Kenntnissen, die Prägung von Verhaltensweisen und die Änderung des motorischen und sozialen Verhaltens. Lernen ist von vielen Faktoren abhängig. Die Motivation des Lernenden spielt eine große Rolle. Sie setzt den Lernprozess in Gang und steuert ihn. Außerdem haben der Entwicklungsstand des Lernenden sowie die Lernsituation selbst einen großen Einfluss. Der Lernprozess beschreibt den Vorgang und den Verlauf des Lernens, die Folge von Erfahrungen, die den Lernenden dazu bringen, seinen eigenen Standpunkt zu revidieren [Böhm, 2005; Faulstich-Wieland u. Faulstich, 2006].

Lernen kann unter der Verfolgung unterschiedlicher Lernziele erfolgen [Wendt, 2003]:

- *Kognitive Lernziele* adressieren die geistig-rationale Ebene. Es werden Fakten und Zusammenhänge vermittelt. Die Lernenden eignen sich Grundlagenwissen an.
- *Affektive Lernziele* adressieren die Vermittlung psychologischer Fertigkeiten, beispielsweise soziale Kompetenzen, Einstellungen und Verhaltensweisen.
- *Sensomotorische Lernziele* adressieren das Training von Bewegungsabläufen und manuellen Fähigkeiten.

2.1.1 Lernparadigmen

Die Definition des Begriffs *Lernen* ist im Bereich der Psychologie abhängig von der Betrachtungsweise. Die Lernparadigmen beschreiben, was lernen bedeutet, in welchem Kontext es stattfindet, welchen Gesetzmäßigkeiten es gehorcht und wie man es unterstützen kann. Die grundlegenden Fakten sind für alle Paradigmen ähnlich. Sie werden aber jeweils unterschiedlich interpretiert. Es existieren keine scharfen Grenzen zwischen den verschiedenen Paradigmen, an vielen Stellen sind Überschneidungen vorhanden. Es gibt didaktische Richtungen, die durch die unterschiedlichen Lernparadigmen geprägt sind [Mader u. Stöckl, 1999]. Die drei für diese Arbeit wichtigsten Lernparadigmen und die zugehörigen didaktischen Richtungen werden in diesem Abschnitt näher betrachtet.

Behaviorismus

In der behavioristischen Theorie werden sowohl nach außen gerichtete Handlungen, als auch subjektive Erlebnisse als Verhalten aufgefasst, das mit Hilfe objektiver Methoden untersucht werden kann. Bewusstsein, Gedächtnis und Denken sind wissenschaftlich nicht belegbar und können somit nicht als Erklärung herangezogen werden. Das Gehirn wird als *Black Box* betrachtet. Es ist dabei nicht wichtig, wie die Verarbeitung von Reizen erfolgt. Das Ziel dieses Ansatzes ist die Erforschung des Zusammenhangs zwischen einem Reiz und der Reaktion eines Individuums auf diesen Stimulus. Es werden zwei Formen der Reiz-Reaktions-Beziehung unterschieden. Es handelt sich um das klassische und das operante Konditionieren. Beim *klassischen Konditionieren* nach Pawlow erfolgt das Lernen nach dem Kontiguitätsprinzip. Auf einen Reiz folgt ein *unbedingter Reflex*, der angeboren ist oder früh erworben wird. Wird in engem zeitlichen Zusammenhang zum unbedingten Reiz ein bisher neutraler Reiz eingeführt, entsteht eine neue Reiz-Reaktions-Verbindung, ein *bedingter Reflex*. Durch diese neue Verbindung erfolgt auf den bedingten Reiz die gleiche Reaktion wie auf den unbedingten Reiz. Nach Skinner kann klassisches Konditionieren nicht alle Reaktionen des Menschen erklären. Verstärkung (Lob, Belohnung) ist verantwortlich für das Lernen und den Verhaltensaufbau (*operantes Konditionieren*). Durch sie wird die Auftrittswahrscheinlichkeit einer vorangegangenen Verhaltensweise beeinflusst. Positive Verstärker sind Reize, die die Wahrscheinlichkeit oder Stärke der vorangegangenen Reaktion erhöhen. Der Wegfall eines negativen Verstärkers besitzt den gleichen Effekt wie ein positiver Verstärker [Mader u. Stöckl, 1999; Auinger u. Stary, 2005].

In der *behavioristischen Didaktik* ist der Unterricht auf beobachtbare Verhaltensweisen ausgerichtet. Der Lehrer bestimmt diese Verhaltensweisen und führt sie durch sein Eingreifen herbei. Behavioristische Lernziele besitzen folgende drei Eigenschaften:

1. Ziel-Endverhalten
2. Bedingungen, wann das Verhalten gezeigt wird
3. Leistungsstandard

Komplexe Lernvorgänge werden in einfache Einzelschritte untergliedert. Die Einzelschritte beinhalten ein spezielles Verhalten. Durch deren Aufeinanderfolge und Kombination werden mit Hilfe der Unterweisung durch den Lehrer komplexe Verhaltensweisen generiert. Richtiges Verhalten wird durch den Lehrer unmittelbar verstärkt. Dafür wird der Lernprozess dauerhaft durch den Lehrenden beaufsichtigt [Mader u. Stöckl, 1999; Auinger u. Stary, 2005].

Kognitivismus

Das menschliche Gehirn und seine Prozesse (menschliche Intelligenz und Denken) sind der Forschungsgegenstand des Kognitivismus. Wissen wird nicht als Darstellung einer externen Realität betrachtet, sondern als das Ergebnis eines subjektiven Erkenntnisprozesses. Er war lange Zeit wegen fehlender Untersuchungsmethoden keine Hauptforschungsrichtung. Erst ab dem 20. Jahrhundert und mit der Zunahme der Kritik am Behaviorismus lebte die Forschung am Kognitivismus wieder auf. Die Komplexität dieses Forschungsgebietes führt zu vielfältigen Ansätzen, die jedoch alle einen gemeinsamen Aspekt besitzen. Sie alle betrachten das Denken als Prozess der Informationsverarbeitung. Informationen sind die Eingangsdaten. Diese werden intern (im Gehirn) verarbeitet und es wird eine Ausgabe geliefert, die wiederum als Eingang dienen kann. Das Gedächtnis ist für die Kodierung, Speicherung und den Abruf der Informationen zuständig. Die Informationen werden im Verlauf des Wahrnehmungsprozesses gefiltert und anschließend gespeichert. Für die Gliederung des Gedächtnisses zur Speicherung der Informationen existieren zwei unterschiedliche Modelle. Ein Modell geht davon aus, dass es nur ein Gedächtnis gibt. Das andere Modell unterscheidet in verschiedene Teile des Gedächtnisses. Die Informationen treffen zuerst auf das *sensorische Gedächtnis*. Dort können viele Informationen gespeichert werden. Allerdings ist die Haltezeit eher gering, wenn die Informationen nicht im Fokus der Aufmerksamkeit liegen. Die bedeutsamen Informationen werden weiterverarbeitet und im *Arbeitsgedächtnis* abgelegt. Eine geringe Anzahl an Informationen kann hier über einen kurzen Zeitraum durch ständiges Wiederholen aktiv gehalten werden. Dabei findet eine Kodierung statt und die Informationen können im Langzeitgedächtnis gespeichert werden. Sie liegen dort in einer inaktiven Form vor. Werden sie benötigt, gelangen sie nach dem Abruf wieder in das Arbeitsgedächtnis [Mader u. Stöckl, 1999; Auinger u. Stary, 2005]. Die Informationen sind Teilbereiche einer Wissensstruktur. Die Wissensstruktur bildet die Grundlage für das Lernen, Denken und das menschliche Verhalten und kann durch Lernen verändert werden. Es existieren zwei unterschiedliche Wissensstrukturen [Mader u. Stöckl, 1999]:

- *Deklaratives Wissen* beinhaltet statisches Wissen über Fakten und Ereignisse. Für eine dauerhafte Speicherung dieses Wissens muss es mit anderen Informationen verknüpft werden.
- *Prozedurales Wissen* beinhaltet Prozeduren für Denk- und Problemlösevorgänge, bei denen gespeichertes deklaratives Wissen zur Lösung des Problems genutzt wird.

Die *kognitivistische Didaktik* orientiert sich stark an den Denkprozessen, die zum Erlernen und Verstehen neuer Informationen notwendig sind. Die Lernenden sollen die reale Welt verstehen.

Dafür schaffen die Lehrenden eine anregende Lernumgebung. Der Schwerpunkt liegt auf dem aktiven Handeln und Denken. Strukturierende Hilfen sollen die Lernenden unterstützen. Um die Lernenden anzuregen, Fragen zu stellen und nach Lösungen zu suchen, werden komplexe Lernumgebungen präsentiert. Die Lehrer unterstützen die Lernenden dabei, eigene Lernstrategien zu entwickeln und umzusetzen. Zur Stärkung sozialer Fähigkeiten, zur gegenseitigen Anregung und zum Fehlerausgleich wird die Gruppenarbeit als wichtig erachtet [Mader u. Stöckl, 1999; Auinger u. Stary, 2005].

Konstruktivismus

Die Ansätze des Konstruktivismus sind relativ jung. Sie wurden erstmalig am Ende des 2. Weltkriegs aufgegriffen und erlebten seit Mitte der 90er Jahre einen Aufschwung. Auch beim Konstruktivismus gibt es verschiedene Ansätze und Vertreter. Sie basieren allerdings auf den gleichen Annahmen zum Wissenstransfer und den Lernvorgängen. Es handelt sich um ein umfassenderes Konzept als das des Behaviorismus oder Kognitivismus. Konstruktivisten gehen davon aus, dass sich jeder Mensch seine eigene Wirklichkeit konstruiert. Der Mensch wird als informationell geschlossenes System gesehen. Die Umwelt löst im Menschen Veränderungen aus, deren Auswirkungen individuell bestimmt werden. Es gibt keine Objektivität. Informationen werden, anders als beim Kognitivismus, nicht als etwas Externes angesehen. Sie gelten als interne Reaktionen auf Wahrnehmungen, die mit Hilfe der Erfahrungen an vorhandenes Wissen angeknüpft werden. Der Wissenserwerb kann weiterhin durch Kommunikation erfolgen. Es ist aber keine direkte Übertragung von Informationen möglich. Die Vermittlung des Wissens sollte auf eine Art und Weise geschehen, die sie beim Lernenden mit Bedeutung und Sinn verknüpft. Die Lernenden müssen befähigt werden, eigenständig und flexibel Probleme zu lösen. Beim konstruktivistischen Lernen handelt es sich demzufolge um selbstständiges und aktives Lernen, bei dem ein Lehrer Unterstützung anbietet [Mader u. Stöckl, 1999; Auinger u. Stary, 2005].

Im Rahmen der *konstruktivistischen Didaktik* wird das Wissen von jedem Lernenden konstruiert. Es gibt kein objektives Wissen. Der Unterricht soll sich an der Realität orientieren, keine vereinfachten Modelle verwenden und auf die Interessen der Lernenden ausgerichtet sein. Nur so können komplexe Zusammenhänge erfasst werden. Lernen wird als aktiver Prozess gesehen, eigenes Interpretieren und Verstehen steht im Mittelpunkt. Das Wissen wird von jedem Lernenden konstruiert und nicht passiv aufgenommen und reproduziert. Dabei wird dem Gruppenlernen eine große Bedeutung beigemessen. Die Diskussion mit anderen Lernenden hilft beim Überdenken und Strukturieren eigener Erkenntnisse. Bei den Diskussionen spielt die Betrachtung von Fehlern eine wesentliche Rolle [Mader u. Stöckl, 1999; Auinger u. Stary, 2005].

2.1.2 Lernmotivation

Motivation bestimmt neben Reizen, Lernvorgängen und Fähigkeiten das menschliche Verhalten. Sie ist die Ausrichtung des aktuellen Handelns auf einen positiv gewerteten Zielzustand. Sie ist abhängig von den Motiven der Person und den situativen Bedingungen. Es wird zwischen *intrinsischer und extrinsischer Motivation* unterschieden. Die intrinsische Motivation bezieht sich auf Handlungen, die die Person aus inhärenten Gründen, um ihrer selbst Willen, ausführt. Diese Art der Motivation findet man häufig bei Freizeitaktivitäten. Beim extrinsisch motivierten Lernen wird gelernt, um ein Ziel außerhalb der Sache selbst zu erreichen [Niegemann u. a., 2004]. Eine Leistungsorientierung ist häufig extrinsisch und eine Lernorientierung ist meistens intrinsisch motiviert. Eine Kopplung der Motivationen ist möglich, z.B. die Erweiterung der eigenen Kompetenz als Ziel an sich und zum Zweck der beruflichen Karriere [Krapp u. Weidenmann, 2001].

Deci u. Ryan [1987] führen fünf Faktoren auf, die die intrinsische Motivation beeinflussen können:

1. Externe Belohnung
2. Zeitliche Fristen
3. Externe Evaluierung und Überwachung
4. Wahlfreiheit
5. Positive Rückmeldung

Bereits existierende intrinsische Motivation kann durch äußere Einflüsse außer Kraft gesetzt werden. Deshalb ist es ungünstig, bereits intrinsisch motivierten Personen zusätzlich Belohnungen in Aussicht zu stellen [Zumbach u. a., 2004].

Motivation ist eine Wechselwirkung zwischen handlungsbezogenen Erwartungen und Wertigkeiten. Sie entsteht, wenn folgende Bedingungen vorhanden sind [Niegemann, 1995]:

- Geringe Erwartung, dass die Situation ohne den eigenen Beitrag zu einem positiven Ergebnis führt.
- Hohe Erwartung, dass die Situation durch den eigenen Beitrag zu einem positiven Ergebnis führt.
- Hohe Erwartung, dass durch den Erfolg weitere positive Konsequenzen folgen.
- Hohe subjektive Bedeutsamkeit des Erfolgs, des Ergebnisses oder dessen Folgen.

Erfolg wird höher bewertet, je komplizierter die Aufgabe ist und Misserfolg umso unangenehmer empfunden, je leichter die Aufgabe ist. Je nach subjektiver Erfolgswahrscheinlichkeit werden erfolgsmotivierte und misserfolgsmotivierte Lernende differenziert. Beide Lerntypen unterscheiden sich in der Wahl ihrer Aufgaben und im Maß ihrer Bemühungen die Aufgabe zu bewältigen.

Es werden vier Ursachen für Erfolg und Misserfolg unterschieden, die die subjektive Erfolgswahrscheinlichkeit beeinflussen [Niegemann, 1995]:

- *Internale Faktoren*: *Begabung* und *Anstrengung* des Lernenden (sie sind relativ konstant)
- *Externale Faktoren*: *Aufgabenschwierigkeit* und *Zufall* (sie können variieren)

Bei einer Staffelung der Aufgaben in unterschiedliche Schwierigkeitsstufen, besteht in der Erwachsenenbildung mutmaßlich ein Zusammenhang zwischen der Leistungsmotivation und der Akzeptanz der Bildungsangebote [Niegemann, 1995].

Das ARCS-Modell beschreibt auf Basis motivationspsychologischer Prinzipien vier Bedingungen (**A**ttention, **R**elevance, **C**onfidence, **S**atisfaction), die die Motivation der Lernenden fördern [Niegemann u. a., 2004]:

- Aufmerksamkeit und Interesse erlangen und aufrecht erhalten:
  - Einsatz neuer, überraschender, widersprüchlicher oder ungewisser Inhalte bzw. Ereignisse
  - Stimulation eines informationssuchenden Verhaltens durch Konfrontation mit oder Aufforderung zur Formulierung von Fragen oder Problemen
  - Aufrechterhaltung des Interesses durch Variation der Instruktionselemente
- Relevanz und Bedeutsamkeit des Lehrstoffs vermitteln:
  - Schaffung von Vertrautheit, durch Verwendung vertrauter Sprache bzw. Terminologie, Beispielen und Bezügen zu Erfahrungen und Werten
  - Lehrzielorientierung geben - Ziele und Nützlichkeit deutlich machen, den Lerner eventuell Ziele selbst festlegen lassen
  - Anpassung der Lehrstrategie an das Motivationsprofil des Lernenden
- Erfolgszuversicht bewirken:
  - Vermittlung der Anforderungen und Kriterien zur Bewertung der Leistung
  - Erfolgserlebnisse ermöglichen, durch das Angebot von Aufgaben mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad
  - Selbstkontrolle bieten, durch den Einsatz von Rückmeldungen
- Zufriedenheit und Befriedigung schaffen:
  - Anwendung des neu erworbenen Wissens oder der Fertigkeiten in realen oder virtuellen Situationen
  - Aufrechterhaltung des erwünschten Verhaltens, durch positive Rückmeldungen
  - Gleichheit und Gerechtigkeit, durch einheitliche Beurteilungsmaßstäbe und Konsequenzen

Diese Bedingungen stellen Mindestanforderungen jeder Instruktion dar und sollten als grundlegendes Gestaltungsmittel bereits im Designprozess berücksichtigt werden.

2.1.3 Gedächtnis

Nur ein kleiner Anteil der aufgenommenen Informationen werden dauerhaft behalten. Die meisten Details, Eindrücke und Wahrnehmungen werden bereits nach kurzer Zeit vergessen. Auf der Basis dieser Beobachtungen und experimenteller Studien werden verschiedene Gedächtnismodelle beschrieben. Ein Beispiel ist das *Dreispeichermodell*, das drei unterschiedliche Systeme zur Speicherung der Informationen unterscheidet (siehe Abbildung 2.1).

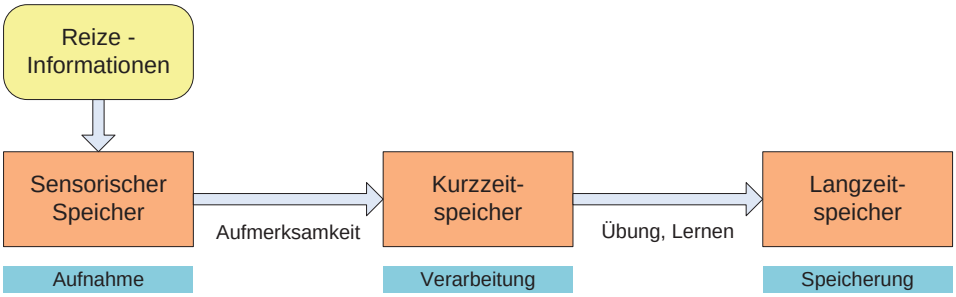


Abbildung 2.1: *Das Dreispeichermodell unterscheidet den sensorischen Speicher, den Kurzzeitspeicher und den Langzeitspeicher.*

Im *sensorischen Speicher* werden große Mengen von Informationen für sehr kurze Zeit gehalten, sie liegen vor dem Bewusstsein und werden zunächst auf relevante Informationen untersucht. Die Aufmerksamkeit wird auf die wichtigen Aspekte der Informationen gerichtet. Im *Kurzzeitspeicher* können ca. sieben Informationseinheiten gespeichert werden, die für eine kurze Zeit abrufbar sind. Neuere Veröffentlichungen führen eine maximale Anzahl von drei bis vier Einheiten an [Pollmann, 2008]. Die Informationen werden in ihrer sinnesmodalitätsbezogenen Form gespeichert. Eine Wiederholung der Informationen kann die Speicherdauer erhöhen, sie trägt allerdings nicht automatisch zu einer dauerhaften Speicherung bei. Der Kurzzeitspeicher ist an Problemlöseprozessen beteiligt und dient als Arbeitsspeicher. Einige Informationen werden dauerhaft behalten und im *Langzeitspeicher* abgelegt. Diese Informationen können über viele Jahre wieder abgerufen werden, ohne dass sie regelmäßig wiederholt werden müssen. Beim Lernen wird nicht nur der Lernstoff gespeichert, sondern auch Umgebungseindrücke. Subjektiv bedeutsame Informationen werden besser gelernt. Dieses Modell versucht die Speicherung der Informationen im Gedächtnis zu beschreiben, aber es kann nicht alle Vorgänge erklären. Viele Erinnerungsleistungen können beispielsweise nicht eindeutig einem der drei Speichersysteme zugewiesen werden [Bednorz u. Schuster, 2002].

2.1.4 Problemorientiertes Lernen

In der traditionellen Ausbildung wird häufig *träges Wissen* generiert, welches nur schwer oder gar nicht im Alltag mit seinen variierenden Anforderungen anwendbar ist. Die Vermittlung des Wissens erfolgt häufig außerhalb des jeweiligen inhaltlichen Kontexts. Aber Wissen bzw. Lernen ist immer kontextabhängig [Zumbach, 2002]. Durch die Möglichkeit des Lernens mit authentischen Aufgaben, in vielfältigen Kontexten und unter verschiedenen Perspektiven wird die Generierung trägen Wissens weitestgehend vermieden. Die Methode des problemorientierten Lernens (POL) verfolgt diesen Ansatz der Wissensvermittlung. Das problemorientierte Lernen spielt in der medizinischen Ausbildung eine sehr große Rolle. Deshalb wird diese Art des Lernens zunächst fächerübergreifend betrachtet. Die Betrachtung des Einsatzes in der Medizin erfolgt in Abschnitt 4.2.

„Beim Problemorientierten Lernen handelt es sich um eine an Vorwissen und Lernstrategien der Lernenden orientierte, kooperativ selbstorganisierte, schrittweise aufgebaute, von Seiten der Lehrenden moderierende und begleitend unterstützte Lösung von ausgewählten authentischen und komplexen Problemen aus beruflichen Anwendungsfeldern einschließlich der Reflexion von Prozess und Ergebnis zu Zwecken der Ausbildung.“ [Haake u. a., 2004]

Die Ziele problemorientierten (oder auch problembasierten) Lernens sind die Vermittlung des Wissens auf eine strukturierte und in den Anwendungskontext eingebettete Art und Weise, der Erwerb effektiver fachspezifischer Problemlösekompetenzen, die Aneignung von selbstgesteuertem Lernen sowie die Steigerung der Motivation der Lernenden. Diese Ziele sollen bei dieser Form des Lernens durch die Kombination verschiedener Elemente erreicht werden [Zumbach, 2006]:

1. Authentische Problemstellung
2. Lernen in kleinen Gruppen
3. Tutorielle Betreuung
4. Individueller Wissenserwerb

Die Lernenden bekommen eine authentische Problemstellung, beispielsweise in Form von Texten, Videos oder Simulationen präsentiert, die sie anschließend in kleinen Gruppen bearbeiten. Dabei handelt es sich um komplexe Probleme, die einen definierten Ausgangszustand, einen mehr oder weniger definierten Endzustand aber keine Hinweise zur Lösung des Problems oder vorgegebene Zwischenschritte besitzen. Die Komplexität des Problems ist abhängig von der Einbeziehung verschiedener Wissensbereiche, z.B. Grundlagenwissen und Anwendungswissen eines Fachs. Damit wird ein nahtloser Übergang zwischen Fachgebieten geschaffen, die ursprünglich getrennt betrachtet werden und somit eine ganzheitliche Sicht ermöglicht. Die Gruppenarbeit dient zur Diskussion und Analyse des Problems und soll Klarheit über das Problem, mögliche Gesamtziele, den gewünschten Endzustand und mögliche Problemlösungen bringen. Dabei wird das Vorwissen der Lernenden aktiviert und es werden Prozesse der gemeinsamen Wissenskonstruktion eingeleitet, die auf dem unterschiedlichen Wissen, Erfahrungen und Sichten der Lernenden basieren. Wissenslücken müssen definiert

werden. Die Abweichung des Vorwissens der Lernenden und des für die Lösung des Problems notwendigen Wissens sollte nicht zu groß sein, um die Lernenden nicht zu überfordern. Sie können dann möglicherweise kein Verständnis für die Problemstellung aufbauen. Andererseits sollte das Problem für die Lernenden auch nicht zu leicht zu lösen sein, da in dem Fall kein Aufbau neuer Wissensstrukturen erfolgt. Die definierten Wissenslücken dienen anschließend zur Definition von Lernzielen. Ein Vergleich dieser Lernziele mit den vom Lehrer erarbeiteten Lehrzielen zeigt, inwieweit das Problem angemessen gewählt wurde. Die Gruppenarbeit wird durch Tutoren betreut, die hauptsächlich eine moderierende und organisierende Rolle einnehmen.

Die Arbeit in kleinen Gruppen wechselt sich mit Phasen des selbstgesteuerten Lernens ab, in denen sich jeder Lernende die der Problemstellung zugrunde liegenden Inhalte erarbeitet. Dafür nutzen die Lernenden in der Regel Lehrbücher, Fachaufsätze oder Gespräche mit Experten sowie begleitende Seminare oder Vorlesungen. Im Anschluss an das selbstständige Lernen werden die neuen Informationen gesammelt, bewertet, in Relation zu den Lernzielen gesetzt und auf die Lösung des Problems übertragen. Es werden verschiedene Vorschläge zur Lösung des Problems erstellt, die wiederum bewertet und diskutiert werden, bis sich auf einen Vorschlag geeinigt werden kann. Abschließend wird eine Evaluierung des Lernprozesses und Lernergebnisses durch die Gruppe durchgeführt [Zumbach, 2006].

Die folgenden sieben Schritte fassen den Prozess des problembasierten Lernens zusammen [Eitel, 2001]:

1. *Präsentation des Problems*, durch einen Tutor oder Teilnehmer, Klärung von Begriffen durch Diskussion, Hypothesenbildung in Kleingruppen unter tutorieller Leitung

2. *Lernzielbestimmung*, durch Identifikation unklarer oder fehlender Teile in den semantischen Netzwerken der Teilnehmer, entsprechende Informationsbeschaffung

3. *Eigenständiges Literaturstudium*

4. *Auswahl und Einordnung der Ergebnisse* des Literaturstudiums in die eigenen semantischen Netzwerke

5. *Präsentation der Problemlösungen* in Kleingruppen

6. *Diskussion der Problemlösungen* in der Gruppe, Eliminierung falscher Lösungen

7. *Evaluierung des Lernprozesses und Lernergebnisses* durch die Gruppe, Bestimmung weiterführender Lernziele

Neben der Erweiterung des fall- bzw. sachbezogenen Wissens, steht die Vermittlung von Kooperations-, Kommunikations- und Transferfähigkeiten im Vordergrund. Das Training von Fach-, Methoden-, Selbst- und Sozialkompetenz sollte im Zusammenhang erfolgen. Problemorientiertes Lernen wird in Schulen, der Aus- und Weiterbildung sowie im akademischen Kontext eingesetzt [Hoffmann, 2004].

2.2 Instruktionsdesignmodelle

Didaktik ist eine Disziplin der Pädagogik und befasst sich mit der Analyse und Planung von Lehr- und Lernprozessen des Unterrichts. Da es sich beim Unterricht um einen sehr komplexen Prozess handelt, gibt es verschiedene Theorien und Modelle, die sich mit unterrichtlichem Lehren und Lernen beschäftigen [Gudjons u. a., 1997]. Instruktionsdesign hingegen ist eine wissenschaftlich-technologische Teildisziplin der pädagogischen Psychologie bzw. der empirischen Erziehungswissenschaft. Der Begriff Instruktion ist weiter gefasst als *Unterricht* und schließt Planung, Entwicklung und Gestaltung von Lernsystemen ein. Instruktionsdesigntheorien und -modelle bestehen im Kern aus technologischen Aussagen, die durch deskriptive, stochastisch-gesetzmäßige Aussagen begründet sind. Die inhaltlich-technologischen Aussagen geben die Voraussetzungen an, damit eine bestimmte Wirkung erzielt werden kann. Die operativ-technologischen Aussagen betreffen die Effizienz der Vorgehensweise in der Entwurfsphase [Niegemann u. a., 2004].

Es existieren eine Reihe von Modellen des Instruktionsdesigns, die sich den verschiedenen Richtungen der Didaktik zuordnen lassen. Ein behavioristisches Modell ist beispielsweise die *Programmierte Unterweisung*, die die Methode des operanten Konditionierens praktisch umsetzt [Mader u. Stöckl, 1999]. Kognitivistische Modelle wurden z.B. von Merrill entwickelt. Seine Component Display Theory und deren Weiterentwicklung die Instructional-Transaction-Theory [Merrill, 1999], sind bekannte Beispiele. Auf die folgenden konstruktivistischen Modelle wird näher eingegangen, weil sie für diese Arbeit relevant sind: Cognitive Apprenticeship, Anchored Instruction, Goal-based Scenarios.

Unabhängig von einem Modell besteht der Prozess der Erstellung einer Lernumgebung aus fünf Phasen. Das ADDIE-Modell (siehe Abbildung 2.2) dient seit Mitte der 60er Jahre als Grundlage für die Koordination der einzelnen Entwicklungsschritte **A**nalyse, Konzeption (**D**esign), Entwicklung (**D**evelopment), Umsetzung (**I**mplementation) und **E**valuation. Die meisten Instuktionsdesignmodelle beinhalten das ADDIE-Modell in ihren Beschreibungen. Die einzelnen Schritte werden nicht linear abgearbeitet, sondern die Entwicklung sollte ein iterativer, selbstkorrigierender Prozess sein [Gustafson u. Branch, 2002].

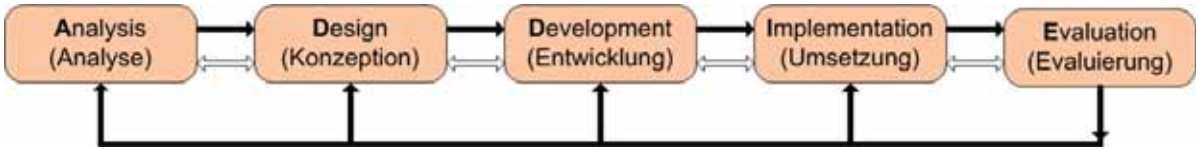


Abbildung 2.2: *ADDIE Modell für die systematische Koordination der Phasen bei der Entwicklung von Lernumgebungen.*

2.2.1 Ur-Modell von Gagné

Robert Gagné ist der Begründer des Instruktionsdesigns. Das grundlegende Prinzip des Instruktionsdesigns ist die Sicherung der Voraussetzungen des Lernens für die jeweils folgen-

den Lehrinhalte. Dabei handelt es sich um notwendiges Vorwissen für das Lernen eines neuen Lehrinhaltes. Weiterhin wird eine Differenzierung der didaktischen Prozesse nach Lehrzielkategorien vorgenommen. Dieses Modell beinhaltet keine Hinweise für ein medienspezifisches Design. Es ist dennoch für die Konzeption multimedialer Kurse geeignet.

Im Ur-Modell nach Gangé bilden die Lernvoraussetzungen eine Hierarchie, wobei jede nicht beherrschte Voraussetzung wiederum ein Lehrziel darstellt, das von einem übergeordneten Lehrziel vermittelt werden muss. Für diese Hierarchie ist eine Kategorisierung der zu erwerbenden Fähigkeiten notwendig.

Es werden neun Lehrschritte unterschieden, die innere und äußere Bedingungen für die Aneignung einer Fähigkeit beinhalten:

1. Aufmerksamkeit gewinnen
2. Informieren über Lehrziele
3. Vorwissen aktivieren
4. Darstellen des Lehrstoffs
5. Lernen anleiten
6. Ausführen/Anwenden lassen
7. Informative Rückmeldung geben
8. Leistung kontrollieren und beurteilen
9. Behalten und Transfer sichern

Es werden fünf Lehrzielkategorien unterschieden, die mit Beispielen aus der Medizin veranschaulicht werden:

- *Sprachlich repräsentiertes Wissen*: Wissen schriftlich oder mündlich wiedergegeben (z.B. anatomische Bezeichnungen, Lagebeziehungen von Strukturen, OP-Techniken)
- *Kognitive Fähigkeiten*: Begriffe unterscheiden, Probleme lösen
- *Kognitive Strategien*: selbstständig lernen, Probleme formulieren und lösen (z.B. selbstständiges Stellen von Diagnosen)
- *Einstellungen*: Handlungsentscheidungen treffen (z.B. Entscheidung für eine Therapie auf Basis eigener Erfahrungen)
- *Motorische Fähigkeiten*: praktische Aufgaben ausführen (z.B. Anlegen eines Wundverbandes, Verabreichen einer Impfung)

Die empfohlene Lehrmethode ist von den Lehrzielkategorien abhängig. Deshalb ist es notwendig, zu Beginn der Entwicklung einer Lernumgebung die zu vermittelnden Fähigkeiten zu analysieren und zu kategorisieren [Niegemann u. a., 2004; Niegemann, 1995].

2.2.2 Cognitive Apprenticeship

Das Modell des Cognitive Apprenticeship ist vom situierten Lernen abgeleitet. Es werden die Vorteile des in der praktischen Lehre handwerklicher Berufe anzutreffenden Meister-Lehrlingsverhältnisses (Traditional Apprenticeship) für die theoretische Ausbildung der Lernenden in kognitiven Lernbereichen genutzt. Das Modell des Traditional Apprenticeship wird heute noch in der klassischen praktischen Ausbildung der Chirurgen eingesetzt (siehe Abschnitt 4.1.2). Es kam vor der Einführung von Flugsimulatoren auch bei der Pilotenausbildung zum Einsatz. Auf diese Weise konnten allerdings nur sensomotorische Fertigkeiten beobachtet werden. Das Cognitive Apprenticeship Modell macht die Gedankengänge der erfahrenen Piloten sichtbar [Kearns, 2008]. Das Modell ist besonders für die Einführung neuer Lehrstoffe im Bereich des kognitiv-prozeduralen Lernens geeignet. Die normalerweise unsichtbaren Denkprozesse müssen sichtbar gemacht werden. Deshalb ist auch dem Lernenden der Sinn der Teilaufgaben, im Gegensatz zum traditionellen Ansatz, nicht ersichtlich und muss ihm bewusst gemacht werden. Damit der Lernende den Zusammenhang der einzelnen Teilaufgaben begreift, wird ihm zu Beginn ein Überblick über die Gesamtaufgabe gegeben. Die Lösung der Teilaufgaben besitzt zu Beginn eine geringe Komplexität und geringe Variabilität.

Im Gegensatz zum traditionellen Apprenticeship-Modell werden die Fertigkeiten unabhängig von einer Aufgabe vermittelt und müssen übertragen werden. Eine Generalisierung der Fertigkeiten ist notwendig und die Lernenden müssen lernen, 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 [Reich, 2009]. Das Vorgehen bei diesem Modell setzt sich aus sechs Lehrschritten zusammen [Niegemann u. a., 2004; Reich, 2009]:

- *Modeling:* Der Experte demonstriert die Problemlösung bzw. Vorgehensweise und macht dabei seinen Denkprozess deutlich. Dabei soll er auch auf normalerweise interne Strategien und Prozesse eingehen und diese verbalisieren. Der Lernende soll versuchen auf dieser Basis für sich ein erstes Modell der Schritte zu erstellen, um sie später selbstständig ausführen zu können. Er muss sich dafür beispielsweise die einzelnen Schritte, ihre Reihenfolge und ihre Funktion im Gesamtprozess merken und die Zusammenhänge verstehen.

- *Coaching:* Im nächsten Schritt führt der Lernende die Verhaltensweise selbst aus, während ihn der Lehrende dabei beobachtet. Der Lehrende liefert dem Lernenden Rückmeldung und, falls notwendig, greift er ein, gibt Tipps oder führt die Schritte nochmal vor.

- *Scaffolding:* Der Lehrende muss die Leistung und Fähigkeiten des Lernenden in diesem Schritt gut einschätzen können, um zu entscheiden, wie selbstständig der Lernende die Aufgabe bewältigen kann und wo er Unterstützung benötigt. Der Lehrende zieht sich nach und nach zurück (Fading), dabei lässt er es zu, dass der Lernende in gewissem Rahmen Fehler macht, um aus ihnen zu lernen.

- *Articulation:* Die Handlungen sollen durch lautes Denken begleitet und kommentiert werden, um die Strukturierung des Wissens zu unterstützen. Auf diese Weise wird implizites Wissen explizit gemacht, was die Generalisierung und den Transfer der Fertigkeiten auf andere Situationen erleichtert.
- *Reflection:* Der Lernende soll zum Reflektieren angeregt werden, indem ihm sein Vorgehen präsentiert wird. Durch den Vergleich zum Modell des Lehrenden, zu anderen Lernenden oder verschiedenen Lösungsvarianten soll der Lernende seine eigene Vorgehensweise bewerten. Die Reflexion fördert die Strukturierung und Generalisierung des Wissens.
- *Exploration:* Der Lehrende liefert im Endstadium keine Unterstützung mehr. Der Lernende sollte eine Aufgabe nun selbstständig analysieren können, um den richtigen Lösungsweg zu finden. Dafür muss er lernen, Hypothesen zu formulieren und verschiedene Methoden und Strategien zur Lösung des Problems auszuprobieren. Die Exploration fördert die Übertragung des Wissens und der Problemlösungsstrategien auf andere Bereiche.

Mit Hilfe des Modells werden domänenspezifisches Wissen und Strategien, Kontroll- sowie Lernstrategien vermittelt. *Domänenspezifisches Wissen* beinhaltet konzeptuelles Wissen, Faktenwissen und Methoden aus dem jeweiligen Fachgebiet. Dieses Wissen ist allein nicht ausreichend, um Probleme zu lösen. Dafür sind zusätzlich *domänenspezifische Strategien* notwendig, die Vorgehensweisen und Tricks der Experten beinhalten. Domänenspezifische Strategien können auf theoretischem Weg nicht vermittelt werden, es ist immer der Bezug zu realen Problemsituationen erforderlich. Kontroll- und Lernstrategien ermöglichen dem Lernenden, neues Wissen zu erwerben und die eigene Vorgehensweise zu beurteilen und anzupassen [Gräsel, 1997].

Für die Konzeption des Lehrplans der amerikanischen Flugakademie in Florida wurde das Cognitive Apprenticeship Modell genutzt. Der Lehrplan basiert auf zwölf realen Szenarien, die beispielsweise Aspekte zu humanitärer Unterstützung, Reaktionen in Unglücksfällen, Wetterstudien, Suche und Rettung und ballistischen Flügen beinhalten [National Flight Academy, 2010].

2.2.3 Zielorientiertes Lernen

Zielorientiertes Lernen (Goal-Based Scenarios) eignet sich für die Vermittlung von Fertigkeiten bzw. Handlungswissen und Faktenwissen im Zusammenhang mit realitätsnahen Problemstellungen. Um die intrinsische Motivation des Lernenden und damit eine tiefere Auseinandersetzung mit dem Lerninhalt zu fördern, ist das Lernen in einen Kontext eingebettet, in dem ein bestimmtes Ziel erreicht werden soll. Dieses Ziel kann nur erreicht werden, indem der Lernende die dafür notwendigen Fertigkeiten ausführt und trainiert. Diese Methode ermöglicht effektives Lernen. Die Lernenden haben ein großes Bedürfnis nach Erklärungen, wenn sie an einer Aufgabe scheitern (*Learning by Doing*) und erinnern sich bei ähnlichen Problemstellungen an frühere Situationen sowie deren Erklärung und Lösung. Das Modell der Goal-Based

Scenarios ist für den Einsatz in der Hochschullehre sowie in der beruflichen Weiterbildung in kognitiv anspruchsvollen Gebieten geeignet [Schank u. a., 1999; Niegemann u. a., 2004]. Das Modell beinhaltet sieben Komponenten [Niegemann u. a., 2004], die anhand eines Beispiels aus dem medizinischem Kontext illustriert sind:

- *Lernziel:* Es muss festgelegt werden, welche Lernziele verfolgt werden sollen und welches Wissen der Lernende dafür benötigt. Gewöhnlich gibt es zwei unterschiedliche Kategorien: Vermittlung von prozeduralem und deklarativem Wissen.

  Beispiel: Eine Tumoroperation mit maximalem Lebergewebeerhalt virtuell planen (Gefäßanatomie bewerten, Lage der Resektionsebene definieren, Volumina des Resektats und des verbleibenden Gewebes bewerten).

- *Auftrag:* Definition einer auf den Lernenden motivierend wirkenden Mission. Der Auftrag sollte realistisch und für den Lernenden attraktiv sein. Der Auftrag kann erklärender, kontrollierender, entdeckender oder gestalterischer Natur sein.

  Beispiel: „Retten Sie das Leben der jungen Mutter, indem Sie eine Operation planen, die das vom Tumor befallene Lebergewebe entfernt und noch ausreichend Gewebe erhält.“

- *Rahmenhandlung:* Es muss für die Aufgabe eine interessante Rahmenhandlung gefunden werden, die die Notwendigkeit des Auftrags begründet und ausreichend Möglichkeiten für das Training der Fähigkeiten und des Wissens bietet.

  Beispiel: „Die Entfernung des Tumors wurde von einem anderen Kollegen konventionell auf Basis der Schichtbilddaten als nicht durchführbar bewertet. Suchen Sie mit Hilfe der computerbasierten Planung und des patientenindividuellen 3D-Modells nach einer Möglichkeit, die Resektion doch durchzuführen.“

- *Rolle:* Die Rolle des Lernenden in der Handlung muss festgelegt werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass diese Rolle dem Lernenden ausreichend Training ermöglicht und außerdem interessant ist und motivierend wirkt.

  Beispiel: Chirurg, der einen Eingriff plant

- *Szenario-Handlungen:* Die Szenario-Handlungen beinhalten alle Aktivitäten, die der Lernende zur erfolgreichen Erfüllung des Auftrags benötigt und sollten in engem Zusammenhang mit dem Auftrag und den Lernzielen stehen. Die Handlungen sollten Konsequenzen auf den Verlauf der Mission haben. Negative Konsequenzen fördern das Verständnis des Lernenden, wie er erfolgreicher seine Ziele erreichen, wie er die erforderliche Fertigkeit besser trainieren oder wie er mehr Inhalt lernen kann.

  Beispiele: Stellen einer Diagnose, Einzeichnen von Resektionslinien, Bewertung der Anatomie der Portalvene

- *Ressourcen:* Informationen die der Lernende zur Erreichung des Ziels benötigt, müssen zur Verfügung gestellt werden. Diese Informationen werden idealerweise in Form von Geschichten präsentiert, weil sie in dieser Form besser behalten werden und mit bereits vorhandenem Wissen in Verbindung gebracht werden können.

  Beispiele: Anamnesedaten, Laborbefunde der Patientin

- *Rückmeldungen:* Rückmeldungen werden situationsbezogen, einsatzsynchron und in verschiedenen Formen geliefert: durch Konfrontation mit den Konsequenzen der Handlungen, durch einen Betreuer, der erklärt, warum eine Handlung falsch war, und durch Erzählungen und Erfahrungen von Experten, die von ähnlichen Situationen berichten. Durch den engen Zusammenhang zwischen der Situation und der Rückmeldung kann der Lernende die erwartungswidrigen Handlungen direkt mit dem Kontext verknüpfen und seine folgenden Handlungen entsprechend anpassen.

Beispiele: sofortige Warnung, wenn bei der Resektion Organe verletzt werden; Vergleich der Planung des Lernenden mit der eines Experten, der sein Vorgehen erläutert und begründet

Gerade für die berufliche Aus- und Weiterbildung ist ein festgelegter Lehrplan mit Lernzielen, die abgearbeitet werden müssen, ungeeignet. Die Teilnehmer reagieren mit hoher Wahrscheinlichkeit uninteressiert und unmotiviert. Es wird allenfalls träges Wissen vermittelt. Das Modell der Goal Based Scenarios wird für die Gestaltung multimedialer Lernumgebungen eingesetzt. Das Prinzip des „Learning by Doing“ fördert die intrinsische Motivation, die zu einer tieferen Auseinandersetzung mit den Lerninhalten führt [Zumbach, 2002].

2.2.4 Vier-Komponenten-Instruktionsdesign-Modell

Das Vier-Komponenten-Instruktionsdesign-Modell (4C/ID-Modell) nach van Merriënboer u. a. [2002]; van Merriënboer u. Kester [2005] ist vorrangig für die Vermittlung von Handlungswissen konzipiert (problemorientiertes Lernen). Das Modell unterstützt die Aneignung von Fähigkeiten, die für eine Aufgabe benötigten Fertigkeiten zu erlernen und sie koordiniert anzuwenden. Es werden die wichtigsten drei Mängel der vorher existierenden Instruktionsdesignmodelle beseitigt. Im Gegensatz zu den Vorgänger-Modellen liegt der Schwerpunkt dieses Modells, statt auf Wissensmodellen, Kontextgestaltung und Medieneinsatz, auf der Integration und koordinierten Ausführung aufgabenspezifischer Teilfertigkeiten. 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. Das Modell gliedert sich in die vier Komponenten des Instruktionsdesigns, die in den folgenden Abschnitten kurz beschrieben werden (siehe Abbildung 2.3) van Merriënboer u. a. [2002]; van Merriënboer u. Kester [2005].

Lernaufgaben

Durch konkrete, authentische und ganzheitliche Aufgaben wird der Lernende bei der mentalen Schemakonstruktion für nicht-periodische Aspekte der Aufgabe und Regelautomatisierung für periodische Aspekte (immer wiederkehrende Aufgaben, die nach einer gewissen Zeit ohne Nachzudenken ausgeführt werden, z.B. Autofahren) der Aufgabe unterstützt. Um eine komplexe Fertigkeit zu erlernen, werden die Lernenden idealerweise mit allen dafür notwendigen Teilaspekten konfrontiert. Mentale Schemata sind von jedem Menschen individuell gebildete hierarchische Wissensstrukturen, die Bedeutungen und Zusammenhänge zwischen Begriffen oder Fakten beinhalten.

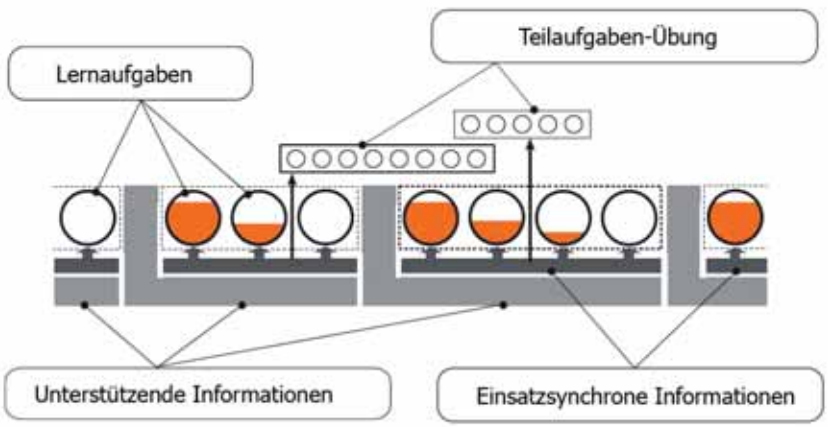


Abbildung 2.3: *Grafische Darstellung der vier Komponenten des 4C/ID-Modells: Lernaufgaben (die Füllung der Kreise gibt den Grad an Unterstützung innerhalb einer Aufgabenklasse an), Teilaufgabenübung (die innerhalb der Aufgabenklassen angeboten wird), unterstützende Information (die jederzeit zur Verfügung steht, aber vor allem vor jeder Aufgabenklasse wichtig ist) und einsatzsynchrone Information (modifiziert nach [van Merriënboer u. a., 2002]).*

Die Lernaufgaben werden in *Aufgabenklassen* unterschiedlicher Komplexität eingeteilt. Die Komplexität einer Aufgabe hängt von verschiedenen Faktoren ab: der Anzahl der benötigten Teil-Fertigkeiten, der Anzahl der Interaktionen zwischen den Teilfertigkeiten und der Menge an Wissen, was zur Ausführung der Teil-Fertigkeiten benötigt wird. Im Lernsystem wird mit einfachen Aufgaben begonnen und dann zu immer komplexeren übergegangen. Alle Aufgaben innerhalb einer Aufgabenklasse können auf der gleichen Wissensbasis ausgeführt werden. Damit ausreichend trainiert werden kann, sind für jede Klasse mehrere Fälle notwendig, die in zufälliger Reihenfolge angeboten werden. Sie sollten sich deutlich voneinander unterscheiden, um die Generierung mentaler Schemata zu ermöglichen und das Gelernte in die Realität transferieren zu können.

Die *Unterstützung* der Lernenden wird bei den Aufgaben einer Klasse nach und nach verringert. Dabei gibt es zwei verschiedene Arten der Unterstützung. Dem Lernenden wird Hilfestellung durch verschiedene Typen von Lernaufgaben gegeben. Fallstudien bieten beispielsweise den höchsten Grad an Unterstützung. Der Lernende wird mit einem Ausgangszustand, einem Zielzustand sowie einer Lösung und möglicherweise sogar Zwischenlösungen konfrontiert. Abschließende Fragen zur Fallstudie fördern die Auseinandersetzung mit dem Inhalt und die Generierung mentaler Modelle. Konventionelle Lernaufgaben bieten keinerlei Unterstützung. Es wird nur der Ausgangszustand und Zielzustand geliefert. Eine Lösung muss allein gefunden werden. Die prozessorientierte Unterstützung ist auf den Problemlöseprozess gerichtet. Den Lernenden wird durch Expertenbeispiele die Möglichkeit der Generierung kognitiver Strategien gegeben. Der Experte führt eine Aufgabe aus und erklärt dabei, warum er die Aufgabe auf eine bestimmte Art und Weise löst. Dabei macht lautes Denken des Experten seinen mentalen Problemlösungsprozess deutlich und der Lernende bekommt einen Einblick in den Ansatz und die Faustregeln, die der Experte benutzt.

Unterstützende Informationen

Diese, den Lernenden zusätzlich gelieferten Informationen, sollen eine Verbindung zwischen dem vorhandenen Wissen und der Arbeit an der Lernaufgabe herstellen. Sie sind für Aufgaben innerhalb einer Klasse gleich. Durch das Herstellen von Beziehungen mit vorhandenem Wissen sollen hochkomplexe mentale Schemata für die Lösung der Aufgaben erzeugt werden. Es wird zwischen der Präsentation allgemeiner Informationen und konkreter Fälle, die diese Informationen illustrieren, unterschieden. Zur Präsentation von Fallstudien eignen sich beispielsweise computerbasierte Simulatoren. Der Lernende kann Beziehungen erforschen, indem er Variablen ändert und die Auswirkung auf andere Variablen beobachten kann. Die primäre Aufgabe ist dabei nicht das Training der komplexen Fähigkeit, sondern der Lernende soll auch dabei unterstützt werden, mentale Modelle zu konstruieren.

Das 4C/ID-Modell unterscheidet für die Präsentation der Information zwischen zwei Strategien:

- *Induktive Strategie*: Bei einer induktiv-erkundenden Strategie werden Fallstudien präsentiert. Der Lernende soll Beziehungen zwischen den in den Fällen illustrierten Informationen identifizieren. Diese Strategie ist allerdings sehr zeitaufwändig. Die induktiv-erklärende Strategie wird im Modell empfohlen. Es werden Fallstudien und auch die Beziehungen zwischen den in den Fällen illustrierten Informationen präsentiert. Diese Strategie eignet sich für Lernende mit wenig Vorwissen.
- *Folgernde Strategie*: Der Lernende arbeitet sich von den allgemeinen, abstrakten Informationen direkt zur Lernaufgabe. Die Theorie wird präsentiert und diese Informationen werden mit einem oder mehreren Lernaufgaben illustriert. Anfänger ohne Vorwissen haben Schwierigkeiten die Theorie zu verstehen. Daher sollte diese Strategie nur für Lernende mit Vorwissen eingesetzt werden.

Wichtig für den Lernprozess ist die Rückmeldung über die Ausführung der Aufgabe. Die Lernenden sollten über die Qualität ihres Problemlösungsprozesses informiert werden und über eventuell effektivere Lösungsprozesse nachdenken. Dies kann unter anderem durch Abschlussbesprechungen und Kritik durch andere Lernende oder Experten geschehen. Das Feedback wird nach Ausführung von einer oder mehreren Lernaufgaben oder nach der kompletten Aufgabenklasse gegeben. Kognitives Feedback bezieht sich auf die nicht-periodischen Aspekte der Ausführung und soll die Schemakonstruktion fördern. Dabei gibt es keine korrekten oder falschen Ausführungen, nur mehr oder weniger effektive.

Einsatzsynchrone Informationen

Diese Informationen beinhalten Wissen für die schrittweise Ausführung von rekurrenten (periodisch genutzten) Fertigkeiten. Sie sollten während der ersten Lernaufgabe, für die sie relevant sind, geliefert werden. Bei den folgenden Aufgaben werden sie wieder ausgeblendet. Um eine kognitive Überlastung der Lernenden zu verhindern, wird jeweils nur eine kleine Menge neuer

Informationen, die Regeln und Wissen für die korrekte Anwendung dieser Regeln enthält, präsentiert. Einsatzsynchrone Informationen werden nicht direkt präsentiert, sollten aber immer leicht erreichbar und einsetzbar sein. Gute Beispiele sind Lernhilfsmittel wie Online-Hilfen, Checklisten oder Handbücher. In vielen Fällen ist es hilfreich, zusätzlich zum Text Beispiele zu präsentieren, die die Allgemeingültigkeit der Informationen illustrieren (Modellierungsbeispiele oder Instanzen). Bei fehlerhafter Ausführung der Regeln wird unmittelbar Feedback geliefert, das Informationen über den Fehler und dessen Berichtigung enthalten sollte. Den Lernenden soll nicht nur die korrekte Aktion angezeigt werden. Sie sollen verstehen, warum die Aktion falsch war und wie sie berichtigt werden kann.

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 solchen Fällen, vor allem bei sicherheitskritischen Fertigkeiten, ist es notwendig, auch das Training von Teilaufgaben anzubieten, um eine stärkere Automatisierung zu erreichen. Die generelle Einführung von Teilaufgabenübungen ist nur sinnvoll, wenn die Fertigkeit für die Ausführung von vielen anderen Fertigkeiten notwendig ist, die sich höher in der Hierarchie befinden (komplexere Fertigkeiten) oder sie gleichzeitig mit vielen anderen gleichrangigen Fertigkeiten ausgeführt werden muss.

Das Training von Teilaufgaben sollte der Erklärung einer einfachen Version der Gesamtaufgabe folgen, damit sie eingeordnet werden kann. Sie sollte in der Aufgabenklasse, in der sie zum ersten Mal benötigt wird, angeboten werden, damit der Lernende Aktionen identifizieren kann, die die Integration der periodischen Fertigkeit in die Lernaufgabe benötigen. Es ist wichtig die Teilaufgabenübung in engem Zusammenhang mit den Lernaufgaben zu stellen, weil so eine verteilte Übung ermöglicht wird und der Lernende die periodische Fertigkeit in den Kontext der gesamten komplexen Fähigkeit bringen kann. Die Gesamtmenge an Übungselementen sollte repräsentativ für alle Situationen sein, damit eine breite Auswahl an situationsspezifischen Regeln zur Verfügung steht und eine optimale regelbasierte Übertragung auf neue Situationen ermöglicht. Nur bei komplexen Algorithmen und großen Regelmengen ist es notwendig, mit einer Aufteilung von Übungselementen in unterschiedliche Schwierigkeitsgrade zu arbeiten. Weiterhin sollte ein Training einzelner Fertigkeiten vorgesehen werden, bevor die komplette periodische Fertigkeit trainiert wird. Es ist sehr viel Training notwendig, um eine Fähigkeit ganz zu automatisieren. Für Fähigkeiten, die automatisch ausgeführt werden sollen, ist aber das primäre Ziel, nicht immer die höchste Genauigkeit zu erreichen, sondern oft erscheint eine angemessene Genauigkeit in Kombination mit hoher Geschwindigkeit und der Fähigkeit der gleichzeitigen Ausführung mehrerer Fähigkeiten sinnvoller. Das Training sollte daher unter verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen: unter Geschwindigkeitsdruck, gemeinsam mit anderen Fertigkeiten und im Kontext der Gesamtaufgabe. Die besten Ergebnisse können durch kurze Trainingseinheiten mit Unterbrechungen erreicht werden, statt durch lange, konzentrierte Übung der Teilaufgabe.

Das 4C/ID-Modell wurde für das Design von Trainingsprogrammen im Bereich der Flugsicherung und der Flugzeugwartung eingesetzt [Salden u. a., 2006]. Niegemann u. a. [2004] zufolge gibt es für das Design problembasierten Trainings komplexer kognitiver Fähigkeiten keine bessere Entscheidung als dieses Modell.

2.3 e-Learning

Vor den 90er Jahren war mit dem Begriff e-Learning ein elektronisch unterstütztes Lernen (CBT - computerbasiertes Training) gemeint. Mit der Verbreitung des Internets wandelte sich auch die Bedeutung des e-Learnings hin zum webbasierten Lernen (WBT - webbasiertes Training). Heute schließt der Begriff beide Formen des Lernens ein [Baumgartner u. a., 2002]. E-Learning ermöglicht ein Lernen aus positiven aber auch negativen Erfahrungen. Es wird ein Lernen aus Fehlern möglich, ohne sich selbst oder andere Personen dadurch zu gefährden. Piloten können beispielsweise sicherheitskritische Flugmanöver in Flugsimulatoren so lange trainieren, bis sie die notwendige Kompetenz erreicht haben.

2.3.1 Vorteile und Erfolgsfaktoren

Die Wissensvermittlung in e-Learning Angeboten erfolgt aktiv, statt rezeptiv wie bei konventionellem Lernen. Durch die Möglichkeit des Lernens in vielfältigen Kontexten und unter verschiedenen Perspektiven kann die Generierung von trägem Wissen weitestgehend vermieden werden [Zumbach u. a., 2000]. E-Learning ermöglicht eine flexible Gestaltung des Lernprozesses. Der Vorteil der zeitlichen und räumlichen Flexibilität ist durch Phasen synchroner Kommunikation mit anderen Lernenden oder dem Lehrer sowie durch die verfügbare Rechnerausstattung teilweise eingeschränkt [Baumgartner u. a., 2002]. Durch die vielfältigen Möglichkeiten des Medieneinsatzes (Videos, Animationen, ...) können komplexe Inhalte anschaulicher präsentiert werden. Die Inhalte der Lernumgebungen können einfacher und schneller aktualisiert werden, als beispielsweise in Büchern, und externe Inhalte können über Hyperlinks verfügbar gemacht werden. Beim Lernprozess des e-Learnings spielt die Integration von Interaktion und Kommunikation, entweder internetbasiert oder in Form von Präsenzveranstaltungen, eine wichtige Rolle. Die Organisation des Lernprozesses bekommt so eine größere Bedeutung und dem dynamischen prozesshaften Charakter des Lernens wird entsprochen [Cook, 2005; Zumbach u. a., 2000]. Als weitere Vorteile werden die Kostenersparnis in der Lehre, die automatisierte Wissensprüfung und das Wissensmanagement sowie die Möglichkeit der Verwaltung des Lernprozesses aufgeführt [Zumbach u. a., 2000].

Es existieren viele Studien, die sich mit der Effektivität des (webbasierten) e-Learnings im medizinischen Bereich im Vergleich zu konventionellen Lernformen befassen. Die meisten von ihnen belegen eine höhere Effizienz sowie eine höhere Zufriedenheit beim Lernen mit e-Learning Angeboten [Cook, 2005]. Ein höherer Wissenszuwachs als bei konventionellen Lehrformen konnte nicht nachgewiesen werden. Der Wissenszuwachs wurde als gleichwertig

eingestuft [Chumley-Jones u. a., 2002; Wutoh u. a., 2004; Fordis u. a., 2005]. Die Effektivität hängt zum einen von der Qualität der Lernangebote ab. Zum anderem sind der Lerntyp des Nutzers, seine Fähigkeit zum selbstorganisierten Lernen sowie seine Kenntnisse im Umgang mit dem PC und dem Internet entscheidend [Cook, 2005]. Selbstlernkompetenz und Selbstmotivation sind wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Nutzung von e-Learning Angeboten.

Die angestrebten *Lernziele* sind häufig kognitive, eingeschränkt affektive und selten sensomotorische Lernziele. Kognitives Lernen beinhaltet die Aneignung von Grundlagenwissen, das Verstehen und Begreifen von Zusammenhängen sowie die Übertragung des Gelernten und dessen Einsatz in neuen Situationen. Im Fokus des affektiven Lernens stehen Einstellungen und Verhaltensweisen. Es sollen psychosoziale und emotionale Schlüsselkompetenzen erlernt werden. Dafür sind Gruppenarbeit und Lernbegleitung Voraussetzungen. Sensomotorische Lernziele beinhalten das Training von Bewegungsabläufen und manuellen Fertigkeiten. Andere Lerndimensionen werden nur in geringem Umfang angesprochen. Folgende Kompetenzen sind nach Wendt [2003] mit einem interaktivem System erlernbar:

- Fakten- und Anwendungswissen
- Intellektuelle Fähigkeiten
- Verhaltensweisen (kognitives Training)
- Praktische Fähigkeiten

Damit eignen sich interaktive Lernsysteme zur Einführung und Vorbereitung eines Lernthemas. In diesem Bereich sind die Lernsysteme der konventionellen Lehre überlegen. Sie sollten allerdings in ein übergeordnetes Bildungskonzept integriert werden („Blended Learning“), denn eine konventionelle Lehrveranstaltung mit ausgebildeten und erfahrenen Lehrern und dem sozialen Kontakt können sie nicht ersetzen [Wendt, 2003; Fischer u. a., 2008].

Webbasierte Lernsysteme bieten dieselben Interaktionsmöglichkeiten wie computerbasierte Lernsoftware. Es muss allerdings in den meisten Fällen keine Software installiert werden, denn die Daten und Informationen werden auf einem zentralen Server verwaltet und von dort abgerufen. Durch die Speicherung der Daten auf einem Server ist die zentrale Pflege der Software und der Lerninhalte möglich. Webbasierte Lernsysteme ermöglichen zudem eine Online-Evaluierung und Online-Abrechnung sowie einen kontrollierbaren Zugang zu den Lerninhalten. Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist die Verfügbarkeit externer Wissensquellen über das Internet. Die Client-Server-Architektur hat allerdings auch Nachteile, denn je nach Datenvolumen muss der Nutzer mit längeren Ladezeiten rechnen, was zu einer Beeinträchtigung der Akzeptanz führen kann. Die Bereitstellung und Wartung der Server ist außerdem mit Aufwand verbunden [Leven u. a., 2006]. Fragen und Probleme können die Studierenden in einem Forum, Chat der Lernplattform oder per E-Mail den verantwortlichen Lehrenden schildern.

Es gibt mittlerweile ein umfangreiches Angebot von Lernprogrammen und -plattformen. Vorteil des vielfältigen Angebots ist, dass sich jeder Lernende, je nach Lernstil und Bedürfnissen, das Passende auswählen kann. Es ist allerdings aufgrund der mangelnden Transparenz nicht

für jeden Lernenden einfach, ein seinen Bedürfnissen entsprechendes und qualitativ hochwertiges Angebot zu finden.

Boeker u. Klar [2006] geben Maßnahmen für erfolgreiche e-Learning Angebote im Bereich der medizinischen Aus- und Weiterbildung an. Diese Maßnahmen sind ohne Einschränkung auf Lernangebote aus anderen Bereichen übertragbar:

- Zu Beginn Durchführung einer detaillierten und empirischen Bedarfs- und Nutzeranalyse
- Ziele des Systems festlegen - Vorteil des Systems gegenüber konventionellem Lernen
- Integration aller Mitarbeiter, die in der Lehre tätig sind, in die Entwicklung (bezogen auf den medizinischen Bereich der Lehre)
- Planung und dauerhafte Sicherung ausreichender Ressourcen (personell, finanziell, räumlich)
- Orientierung an Erfahrungen anderer, ähnlicher Systeme
- Einbindung in Curriculum oder Weiterbildungsschema (Aufgrund der überfüllten Lehrpläne ist eine zusätzliche Nutzung eher unwahrscheinlich.)
- Beteiligung der Zielgruppe an der Entwicklung

Cook u. Dupras [2004] beschäftigen sich im Rahmen der Entwicklung webbasierter Kurse mit Prinzipien für aktives Lernen und entwickelten einen Grundgerüst, um effektive Webseiten für Lehrzwecke zu entwickeln. Die Prinzipien lassen sich auf jede Art von Lernsystem übertragen:

1. Bedarfsanalyse, Spezifizierung von Zweck und Zielen
2. Bestimmung technischer Ressourcen und Anforderungen (eigene Ressourcen für die Entwicklung und die der Lernenden)
3. Evaluierung von kommerzieller Software und deren Nutzung, wenn sie den eigenen Anforderungen genügt
4. Sichere die Zustimmung/Akzeptanz/Verpflichtung aller Beteiligten und identifiziere und adressiere potentielle Barrieren der Umsetzung
5. Inhaltsentwicklung in engem Zusammenhang mit Webdesign (Nutzung von Multimedia, Hyperlinks, Onlinekommunikation; Befolgung von Prinzipien für gutes Webseitendesign; Entwurf eines großzügigen Zeitplans - eine gewissenhaft entwickelte Seite braucht später weniger Wartung)
6. Förderung von aktivem Lernen - Selbsteinschätzung, Reflexion, selbstgesteuertes Lernen, problembasiertes Lernen, Interaktion, Feedback
7. Lernenden die Benutzung erleichtern und motivieren
8. Evaluierung der Lernenden und des Kurses
9. Probelauf/Test der Webseite vor der kompletten Umsetzung

10. Überwachung der Onlinekommunikation, Pflege der Seite durch Behebung technischer Probleme, regelmäßige Verifizierung der Hyperlinks und Aktualisierung der Inhalte

Niegemann u. a. [2004] betrachten die Euphorie des e-Learnings kritisch und stellen einige der genannten Vorteile in Frage: Versprochene Kosteneinsparungen (z.B. in Bezug auf die innerbetriebliche Weiterbildung) können nicht immer erreicht werden. Die reine Präsentation von Texten und Bildern bringt keinen Vorteil gegenüber gedruckten Vorlesungsskripten. Die Fähigkeit zum selbstorganisierten Lernen kommt nicht automatisch mit einem e-Learning Angebot, deshalb sind die Abbrecherraten hoch. Bilder, Musik, realistische Geräusche, die Kombination von Schrift, Bild und Sprache allein verbessern weder den Wissenserwerb, noch die Motivation. Problembasiertes Lernen ist mit einem hohen Zeitaufwand verbunden. Virtuelle Arbeitsgruppen besitzen die gleichen Probleme wie Präsenzarbeitsgruppen. Für die Mehrheit der genannten Probleme ist die häufig fehlende geeignete didaktische Konzeption der e-Learning Angebote verantwortlich.

2.3.2 Lernmodelle und -konzepte

Das *Lehr- und Lernmodell nach Baumgartner/Payr* ist ein heuristisches Modell mit drei Dimensionen [Baumgartner u. a., 2002]:

1. Lernziele/-inhalte
2. Lernstufen
3. Lehrstrategien

Es ist unabhängig vom Fachgebiet, der Zeit, dem Ort, den Finanzen und der Motivation. Es dient einem qualitativen Vergleich von Lernsoftware. Nach der Einordnung der Software in das Modell können die Systeme auf gleicher didaktischer Ebene verglichen werden. Ein Vergleich von Systemen verschiedener Ebenen ist dagegen nicht sinnvoll.

Das Modell berücksichtigt unterschiedliche Ausprägungen der Lerninhalte: Fakten/ kontextfreie Regeln, kontextabhängige Regeln, Problemlösung, Gestalt-, Mustererkennung und komplexe Situation. Die Einteilung in fünf Lernstufen, die fließende Übergänge und eine steigende Komplexität wiederspiegeln sind angelehnt an das Lernmodell von Dreyfus & Dreyfus und beschreiben die schrittweise Aneignung eines tieferen und besseren Verständnisses [Mader u. Stöckl, 1999; Baumgartner u. a., 2002]:

- *Neulinge:* Sie besitzen keine Erfahrungen und lernen die Fakten und kontextfreie Regeln erst kennen (Übermittlung deklarativen Wissens). Beim Lernen findet eine Generalisierung des Wissens statt, die kontextabhängigen Regeln werden verallgemeinert und damit kontextfrei. Die Gefahr dabei ist, dass der Lernende noch nicht einschätzen kann, welche Regeln veränderlich sind und welche Regeln nur Faustregeln sind. Weiterhin besteht die Gefahr einer Übergeneralisierung. Der Erwerb von Fakten wird als Lernziel angesehen und nicht als Ausgangspunkt für den Lernprozess.

- *Anfängertum:* In der folgenden Stufe werden die kontextfreien Regeln angewandt und es werden dabei eigene Erfahrungen erworben und die Regeln damit kontextabhängig. Eine Gefahr besteht beim Einbringen der eigenen Erfahrungen, die in der Regel noch unsicher sind. Die Lernenden sollten Unterstützung bekommen, Fragen stellen können und Feedback bekommen, denn sie sind noch nicht befähigt selbstständig zu handeln.
- *Kompetenz:* Die kompetente Person wendet Faustregeln an, trifft bewusste Entscheidungen, handelt und löst Probleme selbstständig. Es können erstmals Ziele verfolgt werden und die Lernenden sind in der Lage, zwischen verschiedenen Alternativen zu wählen. Die Gefahr besteht in der noch geringen Anzahl verfügbarer Alternativen. Häufig werden auch komplexe Situationen als zu einfach betrachtet und deshalb falsche Schlussfolgerungen gezogen.
- *Gewandtheit:* Gewandte Personen sind in der Lage, Informationen nach Relevanz zu differenzieren und eine Gesamtsituation ganzheitlich zu erkennen. Die Situationen werden nicht mehr in einzelne Elemente zerlegt und Entscheidungen können auf Basis der intuitiven Gestaltwahrnehmung bewusst getroffen werden. Allerdings führt die Betrachtung einer Situation aus der eigenen Perspektive manchmal zu einem Tunnelblick, so dass möglicherweise alternative Vorgehensweisen oder spezielle Aspekte übersehen werden.
- *Expertentum:* Experten nehmen Situationen intuitiv wahr und treffen ebenso intuitiv Entscheidungen. Ihre perfektionierte Gestaltwahrnehmung erlaubt ihnen, amorphe, komplexe Situationen als vertraute Fälle wahrzunehmen bzw. Fälle zu konstruieren, die die eigene Lösung einschließen. Ihre Fähigkeiten sind unreflektiert, was eine nachträgliche Analyse schwierig macht. Experten entwickeln sich mit jeder unbekannten Situation weiter, aber auch sie sind nicht fehlerfrei. Auch bei ihnen führt die Betrachtung der Situation aus der eigenen Perspektive manchmal zu einem Tunnelblick.

Das Modell beinhaltet weiterhin unterschiedliche Lehrstrategien. Der Lehrer übermittelt Informationen. Er präsentiert, erklärt und besitzt eine uneingeschränkte Autorität. Er sollte Neulingen Fakten vermitteln. Ein Tutor dagegen ist ein erfahrener Lernender, er gibt Anfängern ergänzenden Übungsunterricht in kleinen Gruppen, beobachtet die Lernenden und greift bei Problemen helfend ein. Ein Tutor diskutiert auch kritisch mit kompetenten Personen über Alternativen. Ein Coach kooperiert mit gewandten Lernenden, zeigt in Situationen seinen Lösungsweg vor und kann dabei auch scheitern.

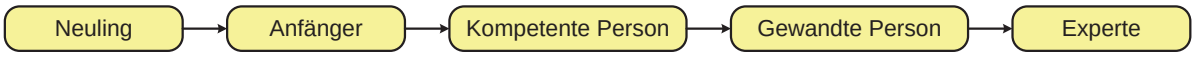


Abbildung 2.4: *Stufenmodell des Lernens als dynamische Entwicklung (modifiziert nach [Baumgartner u. a., 2002]).*

Lernprogramme, die nach dem *Selbstlernkonzept* entwickelt werden, bieten den Lernenden weder Unterstützung noch Rückmeldung über eigene Aktionen und ihren Lernerfolg. Ebenso beinhalten sie weder Aufgaben, Übungen, noch Tests. Sie stellen lediglich multimedial aufbereitete Informationen in offener Struktur zur Verfügung und bieten so dem Benutzer einen schnellen Zugriff auf gesuchte Informationen. Die Interaktionsmöglichkeiten sind auf

die Steuerung des Programms beschränkt. Häufig besitzen sie Zusatzfunktionen, beispielsweise eine Suchfunktion oder ein Lexikon. Systeme mit Selbstlernkonzept sind nur geeignet für Anwender mit Vorwissen, die ein hohes Maß an Selbstdisziplin und Kompetenzen zum Selbstmanagement besitzen. Diese Systeme werden häufig als Expertensysteme, Informationssysteme oder Wissensdatenbank bezeichnet. Oftmals handelt es sich um Hypermedia-Software. Hilfesysteme mit mächtiger Suchfunktion anderer (Lern-)Softwaretypen sind nach dem Selbstlernprinzip konzipiert [Wendt, 2003].

Ein Programm, das auf einem *tutoriellen Konzept* aufbaut, führt die Lernenden schrittweise an Lerninhalte heran. Es beinhaltet logisch aufeinander aufbauende Lernsequenzen, die aus Lerneinheiten und Tests/Aufgaben und gegebenenfalls Wiederholungen bestehen. Die Nutzer erhalten beim Lernen Rückmeldung über ihre Lernleistung und bei Bedarf Unterstützung durch den Tutor. Tutorielle Programme eignen sich für Anwender ohne Vorwissen, denn es wird Grundwissen und ein grundlegendes Verständnis bestimmter Zusammenhänge vermittelt [Wendt, 2003].

Das *explorative Konzept* einer Lernumgebung ermöglicht dem Benutzer ein freies Erkunden und Erforschen und Ausprobieren unterschiedlicher Problemlösestrategien. Es können beispielsweise Funktionsweise und Wirkungsprinzip von dynamischen Abläufen kennengelernt, besser verstanden und beeinflusst werden. Auf diese Weise kann ein Training praxisorientierter Anwendungssituationen erfolgen [Wendt, 2003].

2.3.3 Arten interaktiver Lernsysteme

In Abhängigkeit von der Lernstufe und der Lehrstrategie können interaktive Lehrsysteme in unterschiedliche Arten eingeteilt werden (siehe Abbildung 2.5).

Präsentations- und Visualisierungssoftware

Präsentations- und Visualisierungssoftware dient zur Veranschaulichung von Informationen in Form von Text, Grafiken und anderen Multimediaelementen. Sie dient zur selbstständigen Aneignung von Wissen [Mader u. Stöckl, 1999; Wendt, 2003].

Trainings- und Testprogramme

Trainings- und Testprogramme werden nach dem tutoriellen Konzept entwickelt und können dem behavioristischen Lernparadigma (operantes Konditionieren) zugeordnet werden. Es wird kein neues Wissen vermittelt, sondern vorhandenes Wissen gefestigt oder manuelle bzw. kognitive Fertigkeiten trainiert. Der Lernstoff kann solange wiederholt und in Tests überprüft werden, bis die notwendige Kompetenz erreicht ist. Falsch beantwortete Aufgaben werden immer wieder präsentiert. Auch bereits richtige bearbeitete Aufgaben oder beantwortete Fragen werden zur Verfestigung immer wieder gestellt. Die Rückmeldung des Systems über die

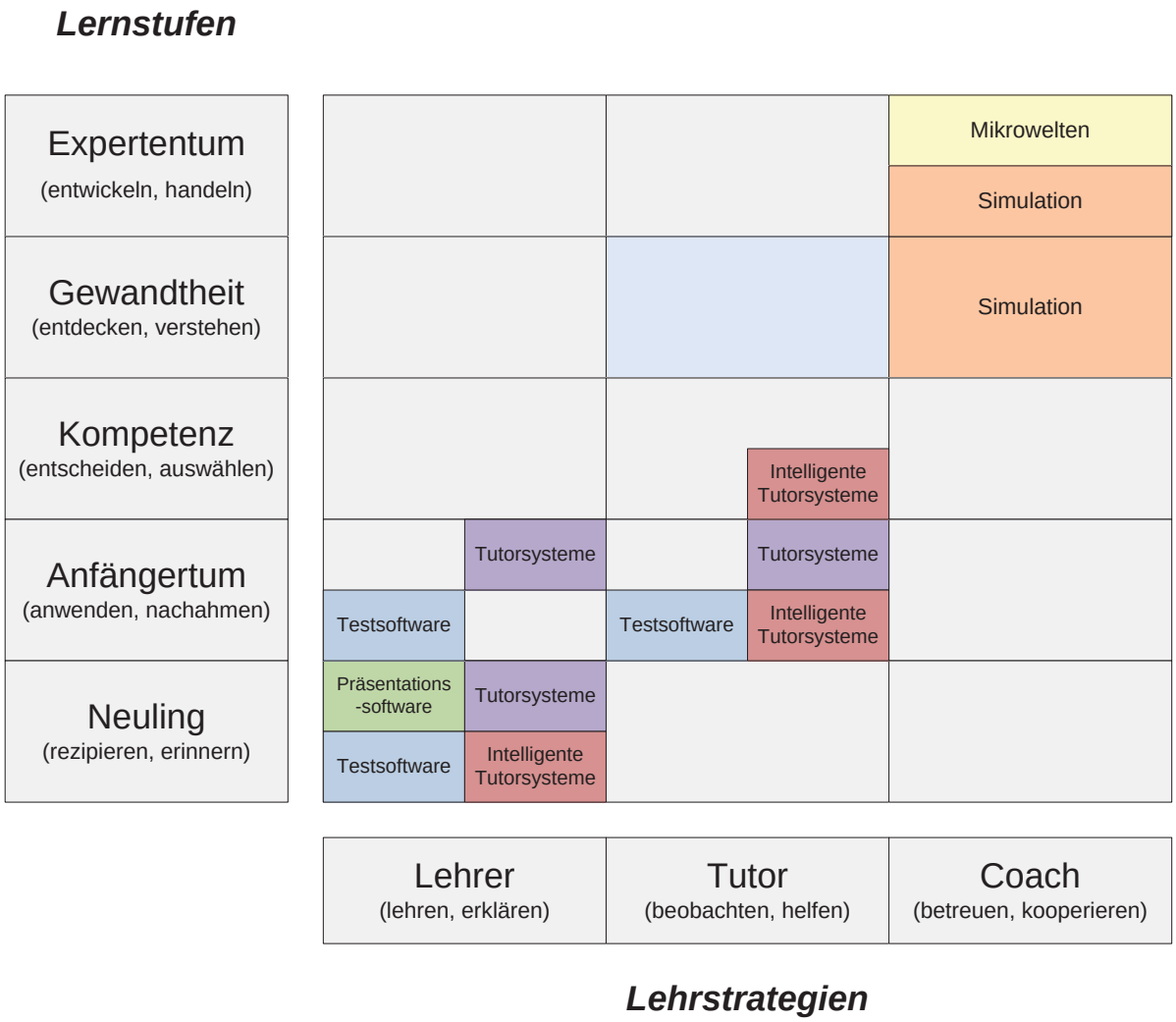


Abbildung 2.5: *Lehr-, Lernmodell nach Baumgartner, Einordnung der Systemarten (modifiziert nach [Mader u. Stöckl, 1999])*

Korrektheit der Antworten erfolgt in knapper Form oder als Musterlösung. Diese Art von Systemen eignet sich besonders zum Lernen von Begriffen oder Vokabeln und als Testinstrument. Einige Systeme berücksichtigen den Lernfortschritt und beinhalten Lernhilfen. Außerdem können die Lernenden die Art und Anzahl der Fragen wählen [Mader u. Stöckl, 1999; Wendt, 2003].

Tutorielle Systeme

Tutorielle Systeme werden dem behavioristischen Lernparadigma zugeordnet und dienen zur Vermittlung neuer Lerninhalte für eine Zielgruppe ohne oder mit einheitlichen Vorkenntnissen. In Lernsequenzen werden die neuen Lerninhalte schrittweise präsentiert. Eine Lernsequenz ist

in mehrere Phasen gegliedert: Einführung, Lernstoffpräsentation in Schritten, Abfragen des Lernstoffs, Auswertung der Ergebnisse, Zusammenfassung der Ergebnisse. Tutorielle Systeme besitzen eine eingeschränkte Navigation, aber ermöglichen die eigene Zusammenstellung der Lerninhalte. Die Lernenden bekommen im Gegensatz zu Trainings- und Testprogrammen ein detailliertes Feedback, ob die Aufgabe vollständig richtig, teilweise richtig/falsch, richtig aber unvollständig oder vollständig falsch gelöst wurde. Antworten können von der Software analysiert werden und abhängig davon werden neue Informationen oder zusätzliche Lernhilfen geboten. Die dargebotenen Informationen werden ohne den Einsatz künstlicher Intelligenz (der Computer analysiert eigenständig das Verhalten des Nutzers und entscheidet ebenso eigenständig welche Aufgaben noch geeignet sind oder welche Hilfen der Lernende benötigt) an den Kenntnisstand des Lernenden angepasst. Der Detailgrad der Lösungshinweise kann an die Anzahl der Versuche gekoppelt werden. Optimal ist es, nicht nur eine Abfrage des vermittelten Lernstoffs durchzuführen, sondern den Lernenden anzuregen sich aktiv mit den Inhalten auseinander zu setzen und Problemlösungsstrategien zu entwickeln [Mader u. Stöckl, 1999; Wendt, 2003].

Die fallbasierten diagnostischen Tutorsysteme CASUS und CAMPUS werden in Abschnitt 4.3.3 beschrieben.

Intelligente tutorielle Systeme

Intelligente tutorielle Systeme sind ebenfalls dem tutoriellen Konzept, aber dem kognitivistischen Lernparadigma zuzuordnen. Sie basieren auf künstlicher Intelligenz und Kognitionspsychologie. Sie ermöglichen eine Anpassung der Auswahl, Präsentation und Abfrage von Lerninhalten an das Vorwissen, den Lernfortschritt sowie die Fähigkeiten des Benutzers. Aus diesem Grund sind intelligente tutorielle Systeme für Benutzer mit heterogenem Vorwissen geeignet. Durch die automatische Adaption des Systems an den Lernenden kann dieser keine unterschiedlichen Lernwege wählen. Es liegt ein mathematisches Modell für die Interpretation der Nutzereingaben und die Organisation des Datenaustauschs im zyklischen Prozess „Lerndiagnose - Aufgabenauswahl - Analyse - Feedback - neue Aufgabe“ zugrunde. Rückschlüsse auf die tatsächliche Leistungsfähigkeit des Lernenden sind dennoch nicht möglich. Diese Art von Lernsystemen ist sehr selten, da die Erstellung mit einem hohen programmiererischen, zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden ist [Wendt, 2003].

Das erste intelligente Tutorsystem, das Wissen ähnlich speichert wie das menschliche Gedächtnis, wurde von Jaime Carbonell 1970 entwickelt [Carbonell u. Collins, 1973]. Es vermittelt Fakten- und Regelwissen zur Geographie Südamerikas.

Mikrowelten

In Mikrowelten findet das explorative Konzept und das konstruktivistische Lernparadigma Anwendung. Es handelt sich um ein interaktives Modell der realen Welt mit eigenen Regeln. Den Lernenden werden die Konstruktion, das Erforschen und die Manipulation des Systems

ermöglicht. Die Lernziele müssen selbstständig festgelegt werden. Es gibt keine Beschreibung von Lernzielen und Aufgaben, keine schriftlichen Anleitungen, keine Hinweise und Informationen sowie kein direktes Feedback. Voraussetzung sind deshalb ein gutes Selbstlernkonzept und gewisse Vorkenntnisse des Anwenders. Eine direkte Messung des Lernerfolgs ist nicht vorgesehen, kann aber durch Zusatzmodule realisiert werden. Das Ziel beim Lernen mit Mikrowelten ist nicht die Bewältigung komplexer Situationen, wie in Simulationen, sondern deren Konstruktion. Nach dem Konstruktionsprozess besitzen sie die gleichen Eigenschaften wie Simulationen [Schulmeister, 2002; Wendt, 2003]. Mit LOGO und TURTLETALK entwickelte Papert in den 80er Jahren eine autonome und beschränkte Umgebung. Es können innerhalb dieser Umgebung Objekte konstruiert, Perspektivwechsel und Gesetzmäßigkeiten ausprobiert werden [Schulmeister, 2002].

Simulationen

Simulationen basieren auf dem explorativen Konzept und dem konstruktivistischen Lernparadigma. Sie stellen die komplexeste Form der Lernprogramme dar. Sie liefern realitätsnahe Abbildungen des Funktionsprinzips komplexer Gesamtsysteme zur praktischen Erprobung von Wissen. Die Lernenden verändern die Parameter des Systems, um deren Einfluss auf das Gesamtsystem und die Wechselwirkungen zu erkunden. Dabei geht es nicht um die Maximierung einzelner, sondern um die Optimierung aller Parameter. Es besteht ein ständiger Dialog zwischen dem System und dem Anwender, der auf vorhersehbare und unvorhersehbare Änderungen im System reagieren muss. Alle Aspekte des Trainings (Aufgabenstellung, Situationsreflexion, Handlung/Entscheidung, Rückmeldung und Lernerfolgskontrolle) erfolgen anwendungsbezogen. Die Anwender von Simulationsprogrammen benötigen Vorwissen, denn im System kann einzig und allein Wissen praktisch erprobt werden. Deshalb ist es sinnvoll, sie in ein didaktisches Gesamtkonzept zu integrieren. Es können Szenarien mit reduzierter Komplexität angeboten werden, an denen das Zusammenspiel bestimmter Parameter erforscht werden kann. Weiterhin ist eine Voreinstellung von Parametern möglich. Zur Unterstützung der Lernenden werden Erläuterungen zum Umgang mit bestimmten Situationen und Demonstrationen angeboten [Mader u. Stöckl, 1999; Wendt, 2003]. Simulationen ermöglichen ein Training sicherheitskritischer Situationen, bis die notwendige Kompetenz erreicht ist (z.B. Flugsimulatoren, Chirurgiesimulatoren).

Einer der ersten Flugsimulatoren wurde von Edwin A. Link gebaut und 1931 patentiert. Mit Hilfe von Blasebalgen und Motoren, die auf einem Sockel befestigt waren, wurden die Bewegungen des Fluges simuliert [Roberson Museum and Science Center, 2000]. Die Bedeutung der Simulatoren für die Ausbildung war den Medizinern lange Zeit nicht bewusst. Der weltweit erste funktionsfähige Operationssaal-Simulator wurde erst 1990 im Universitätsspital in Basel in Betrieb genommen. Es konnten laparoskopische Eingriffe trainiert werden, bei denen das komplette OP-Team beteiligt war. Dieses Teamtraining ermöglichte neben der Verbesserung der manuellen Fertigkeiten auch das Training der Teaminteraktion [simBa - Schweizerisches Zentrum für medizinische Simulation, 2010].

2.3.4 Einsatz von Multimedia für Lernzwecke

Ein gut durchdachter Einsatz multimedialer Elemente bietet dem Benutzer die Möglichkeit, einen komplexen Sachverhalt mit unterschiedlichen Sinnen zu verstehen. Multimediaelemente stellen ein wichtiges didaktisches Mittel zur Erreichung von Lernzielen dar, weil die kombinierte Präsentation die Behaltensleistung unter bestimmten Voraussetzungen steigert. Dabei kann die gleichzeitige Ansprache des Bild- und Sprachgedächtnisses Vorteile bringen. Quantitative Angaben zu Behaltensleistungen können nur grobe Richtwerte sein. Wendt [2003] gibt für die Behaltensleistung folgende Werte an: 20% der über das Sprachgedächtnis (wenn keine Wiederholung erfolgt) und 30% der über das Bildgedächtnis aufgenommenen Informationen werden behalten. Bei einer kombinierten Präsentation erhöht sich die Behaltensleistung auf 50%. Durch eine direkte einmalige Anwendung der Informationen steigert sich die Lernleistung enorm (90%). Damit hat der Computer durch die Möglichkeit der multiplen Informationspräsentation und Interaktivität enorme Vorteile gegenüber konventionellen Lernmedien (wie z.B. Bücher mit Texten und Bildern, Audioaufnahmen, Videos), die nicht immer beide Gedächtnisse gleichzeitig ansprechen bzw. keine zeitnahe Anwendung des Wissens ermöglichen. Der Multimediaeinsatz sollte nur dann erfolgen, wenn er didaktisch sinnvoll erscheint und nicht als reines Gestaltungsmittel dienen [Mader u. Stöckl, 1999; Wendt, 2003].

Schreibtext

Schreibtext besitzt den Vorteil der Beständigkeit. Er kann so lange auf dem Bildschirm präsentiert werden, wie es notwendig ist. Videos, Animationen oder Audiopräsentationen können zwar durch ein erneutes Abspielen immer wieder betrachtet werden, aber sie enden irgendwann. Nachteilig für eine Anwendung im Bereich des e-Learnings ist allerdings die schlechte Lesbarkeit von Text am Bildschirm. Das Auge ermüdet relativ schnell. Damit sinkt auch die Lesegeschwindigkeit merklich und das Lesen wird als anstrengend empfunden. Aus diesem Grund sollte bisher reiner Text in einem computerbasierten Lernsystem sparsam eingesetzt werden. Diese Aussage relativiert sich womöglich mit der rasanten Entwicklung neuer Displays. Die Textabschnitte sollten dennoch in Abhängigkeit von der Eigenschaften des Monitors (Größe, Auflösung, Kontrast) in relativ kurzen, strukturierten Blöcken angeboten und in ihrer Breite begrenzt werden. Der zusätzliche Einsatz zu gesprochenem Text ist ideal [Wendt, 2003].

Grafiken und Bilder

Grafiken und Bilder bilden eine gute Ergänzung und in einigen Fällen sogar eine Alternative zu Text. Komplexe Zusammenhänge können durch Schemata und Visualisierungen konkreter Situationen oder durch Fotos veranschaulicht werden. Mit ihrer Hilfe kann ein Bezug zum

Alltag hergestellt werden. Durch den Einsatz von Bildern und Grafiken lassen sich beim Lernenden Aufmerksamkeit und Emotionen wecken und lenken. Bilder sind nicht immer selbsterklärend. Durch die Darstellung komplexer Inhalte können sie sehr unübersichtlich werden. Eine kurze textuelle ergänzende Beschreibung ist daher sinnvoll [Wendt, 2003].

Audiosequenzen

Audiosequenzen können ebenfalls sehr gut für die Lenkung der Aufmerksamkeit der Lernenden sparsam eingesetzt werden. Sie steigern die Behaltensleistung, weil sie das Sprachgedächtnis aktivieren. Da das Abspielen von Ton den Lernenden selbst oder seine Umgebung stören können, sollte dieses Medium nur optional und mit Lautstärkeregelung angeboten werden. Weil es sich um ein flüchtiges Medium handelt, sollte die Präsentation in Kombination mit einem zusammenfassenden Text erfolgen und die Möglichkeit einer Wiederholung der Audiosequenzen eingeplant werden. Die Grundsteuerfunktionen: Start, Pause, Wiederholung und Abbrechen sollten angeboten werden. Audiosequenzen finden vor allem in Form von gesprochenem Text, als Musikstück, Geräuschkulisse oder Signalton Anwendung. Gesprochener Text dient hauptsächlich zur Einführung in ein Thema und zur Übermittlung konkreter Informationen. Diese Art der Textpräsentation beeinträchtigt das Arbeitsgedächtnis nicht so sehr wie das Lesen eines Textes. Der Betrachter muss beispielsweise nicht seinen visuellen Fokus zwischen Bild und Schreibtext wechseln. Diese Wechsel kosten nicht nur Zeit, sie sind außerdem mental aufwendig. Mit Hilfe eines Musikstücks lässt sich eine bestimmte Stimmung erzeugen und die Identifikation von Ereignissen wird durch wiederkehrende Melodien gefördert. Der Einsatz von Geräuschen vermittelt Realitätsnähe. Signaltöne können beispielsweise als Rückmeldung des Systems an den Lernenden dienen [Wendt, 2003; Niegemann u. a., 2004].

Videos

Videos eignen sich sehr gut für die Vermittlung von Beispielsituationen. Sie schaffen authentische Situationen für das Training von Einstellungen und Verhaltensweisen. Sie ermöglichen z.B. beim Training der Kundenberatung die Beurteilung von Stimmungen und veranschaulichen komplizierte Zusammenhänge, die sprachlich schwer darstellbar sind. Videos sind auch in Schulen, neben der Tafel und dem Projektor, ein viel genutztes Medium, weil sie eine Reihe von Vorteilen gegenüber Bildern oder Texten besitzen. Die Möglichkeit der Steuerung ist eine Grundvoraussetzung für ihren Einsatz. Sie besitzen eine hohe Informationsdichte, die Abbildung von Vorgängen erfolgt in Echtzeit (oder falls erwünscht in Zeitlupe oder im Zeitraffer) und entspricht der Realität. Häufig erfolgt in einem Video die Darstellung gleicher Informationen durch mehrere Symbolsysteme. Diese kognitive Summation führt, wie bereits erwähnt, zu einem besseren Verstehen und Behalten. Der hohe Informationsgehalt birgt allerdings auch Risiken. Es besteht die Gefahr der Überlastung des Lernenden, die zu einer selektiven Wahrnehmung der Informationen führt. Videos sollten inhaltlich und formal in Sequenzen gegliedert werden. Die Sequenzen sollten kurz gehalten werden. Allerdings führen

zu kurze Darbietungszeiten zu Problemen bei der kognitiven Verarbeitung und erschweren die Kategorisierung in eigene kognitive oder emotionale Bezugssysteme. Videos können in einer linearen Struktur mit anderen Präsentationsformen, deren Inhalte sich aufeinander beziehen, integriert werden. Im Idealfall erfolgt eine simultane Präsentation gleicher Informationen. Das erfordert vom Betrachter allerdings eine höhere Verarbeitungsleistung des Gedächtnisses. Um eine Aufmerksamkeitsverlagerung zu vermeiden, können Videos als Standbild integriert und individuell gestartet werden [Wendt, 2003; Niegemann u. a., 2004].

Animationen

Animationen eignen sich sehr gut zur Vermittlung abstrakter und komplexer Sachverhalte, die schwierig zu verbalisieren oder nicht direkt sichtbar bzw. beobachtbar sind. Sie können neben der Visualisierung von Lerninhalten auch zur Aufmerksamkeitslenkung, z.B. beim Bildschirmaufbau, genutzt werden. Der Einsatz von Animationen erfolgt häufig ohne didaktische Funktion. Deshalb sollte im Vorfeld das Ziel, die Eignung sowie die Einbettung der Animation geklärt werden. Ein wichtiges Kriterium dafür ist die Darstellung relevanter Merkmale des Lernstoffs. Personen mit geringem Vorwissen sollten vorher auf wichtige Aspekte der Animation hingewiesen werden. Animationen eignen sich besonders für Situationen, in denen Videos die Lernenden durch zu viele Details überlasten würden. Es sollten die üblichen Steuerungsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt und die technischen Bedingungen der Anwender beachtet werden. Es existieren Studien, die zeigen, dass Nutzer mit hohen mathematischen Fähigkeiten bessere Lernleistungen bei programmgesteuerten Animationen erreichen, aber die Selbststeuerung der Animationen bevorzugen. Probanden mit geringen Fähigkeiten zeigten schlechtere Lernleistungen bei vielen Steuerungsmöglichkeiten und bevorzugten den linearen Ablauf [Niegemann u. a., 2004].

Basierend auf Konzepten zur Informationsverarbeitung und der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses wurden sechs Gestaltungsprinzipien für e-Learning, die instruktionspsychologische Bedingungen multimedialen Lernens beinhalten, entwickelt [Clark u. Mayer, 2002]:

1. *Multimediaprinzip*: Verwende Text und Grafik statt Text allein.
2. *Kontiguitätsprinzip*: Platziere zusammengehörende Worte und Grafiken nahe beieinander.
3. *Modalitätsprinzip*: Nutze zur Beschreibung gesprochenen statt geschriebenen Text.
4. *Redundanzprinzip*: Die gleichzeitige Darbietung von geschriebenem und gesprochenem Text kann das Lernen beeinträchtigen.
5. *Kohärenzprinzip*: Das Hinzufügen von interessantem Material kann das Lernen beeinträchtigen.
6. *Personalisierungsprinzip*: Nutze personalisierten Stil und virtuelle Betreuer.

Die Tabellen 2.1 und 2.2 fassen die wichtigsten Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Medien sowie die Empfehlungen für deren Einsatz zusammen.

	Schreibtext	**Sprechtext**	**Bild**
Vorteile:	Beständig	Steigert Behalten, aktiviert Sprachgedächtnis, lenkt Aufmerksamkeit	Anschaulich, lenkt Aufmerksamkeit, weckt Emotionen
Nachteile:	Schlecht lesbar am Monitor, lange Texte sind ermüden	Flüchtiges Medium, abhängig von techn. Voraussetzungen	Evtl. nicht selbsterklärend
Empfehlung:	Kurze Textblöcke, ergänzend zu Sprechtext	Kombination mit Schreibtext, als Zusammenfassung, optional anbieten	Ergänzend zu Schreibtext

Tabelle 2.1: *Überblick über die Vor- und Nachteile sowie Empfehlungen für den Einsatz von Schreibtext, Sprechtext und Bildern.*

	Video	**Animationen**
Vorteile:	Authentisch, detaillierte Informationen, spricht mehrere Sinne an	Vermittelt abstrakte Inhalte, Visualisiert nicht sichtbare Elemente, lenkt Aufmerksamkeit
Nachteile:	Gefahr der Überlastung, lenkt ggf. vom Lerngegenstand ab	Lenkt ggf. vom Lerngegenstand ab
Empfehlung:	Vermittlung von Beispielsituationen, kurze Einheiten, Steuerfunktion anbieten	Kombination mit Text, sparsam einsetzen, Steuerfunktion anbieten

Tabelle 2.2: *Überblick über die Vor- und Nachteile sowie Empfehlungen für den Einsatz von Video und Animationen.*

2.3.5 Techniken für die Fallauswahl

Es wurden im Rahmen dieser Arbeit verschiedene state-of-the-art Interaktionstechniken für die Fallauswahl in medizinischen, computerbasierten Trainingssystemen analysiert, verglichen und ihre Eignung mit Ärzten empirisch evaluiert [Mewes, 2007; Bade u. a., 2008]. Neben dem Namen des Patienten sind, je nach Anwendungsgebiet, unterschiedliche Merkmale für die Fallauswahl interessant. Bei den untersuchten Techniken handelte es sich um die *Tabelle*, *TableLens*, *InfoZoom* und *Parallele Koordinaten*:

- In einer *Tabelle* werden die Trainingsfälle mit ausgewählten markanten Eigenschaften aufgeführt.
- Die *TableLens* (siehe Abbildung 2.6) präsentiert dem Nutzer die Fälle in einer Tabelle, bei der mit Hilfe einer Fisheye-View-Linse der Informationsgehalt einzelner Einträge erhöht werden kann (Fokus-Kontext-Metapher). Durch die Verkleinerung der Datenzellen des Kontexts und die Nutzung graphischer Repräsentationen der Inhalte können mehr Daten dargestellt werden. Interessierende Bereiche können für eine detailliertere Betrachtung durch die Linse hervorgehoben werden [Rao u. Card, 1994].
- Bei der Nutzung *paralleler Koordinaten* (siehe Abbildung 2.8) werden die Ausprägungen der Fälle auf parallel gelegenen Achsen abgetragen. Ein Linienzug, der die Achsen an unterschiedlichen Stellen schneidet, repräsentiert einen speziellen Fall. Durch die Auswahl eines dieser Linienzüge oder die Spezifikation bestimmter Eigenschaften auf den Achsen wird ein Fall bestimmt [Inselberg, 1985].
- Die Technik des *InfoZooms* (siehe Abbildung 2.7) visualisiert die Trainingsszenarien in einer komprimierten Tabelle, in die hereingezoomt werden kann. Benachbarte Zellen mit gleichem Inhalt werden zusammengefasst. Auch bei dieser Technik werden numerische Daten graphisch repräsentiert. Nicht interessierende Daten können ausgeblendet werden.

Die Evaluierung hat gezeigt, dass die Ärzte zwar mit den Techniken aus dem Bereich der Informationsvisualisierung (z.B. Parallele Koordinaten, InfoZoom) schneller einen bestimmten Fall gefunden haben, dennoch ausdrücklich die Darstellung in Tabellen bevorzugen. Sie begründeten das mit einer mangelnden Vertrautheit mit diesen Techniken und einer aufwändigen Mausinteraktion (z.B. mussten sie häufiger Klicken als bei Tabellen). Besonders bei der Konzeption einer Patientenfallauswahl für Lernsysteme sollte darauf geachtet werden, dass die Bedienung der Fallauswahl intuitiv ist und keinen Lernaufwand verursacht.

Abbildung 2.6: *Screenshot der Technik TableLens. Durch die Platzierung der Linse werden interessierende Bereiche fokussiert.*

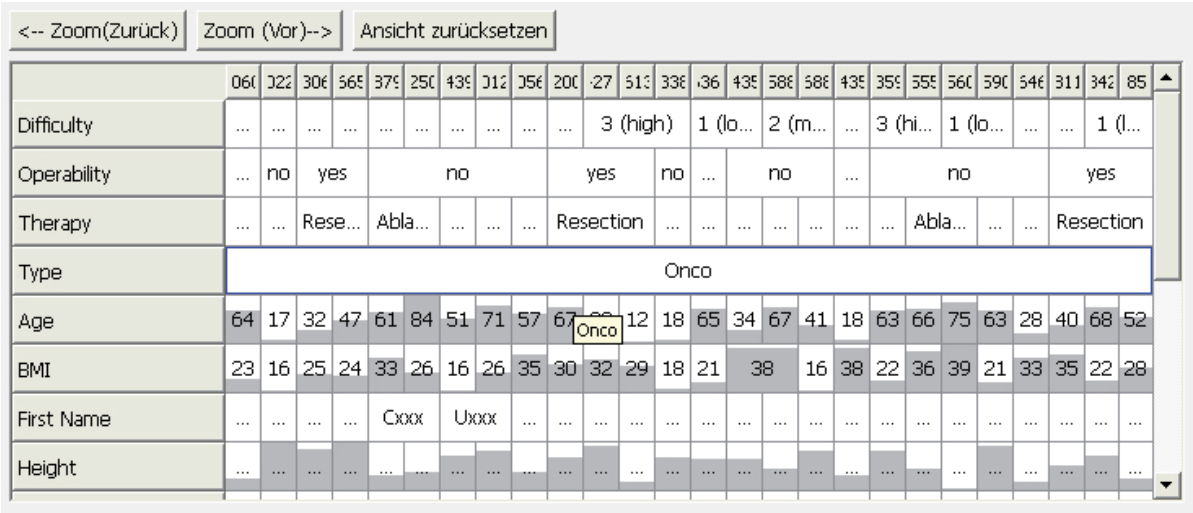


Abbildung 2.7: *Screenshot des InfoZooms. Zellen die benachbart sind und den gleichen Inhalt besitzen, werden zusammengefasst.*

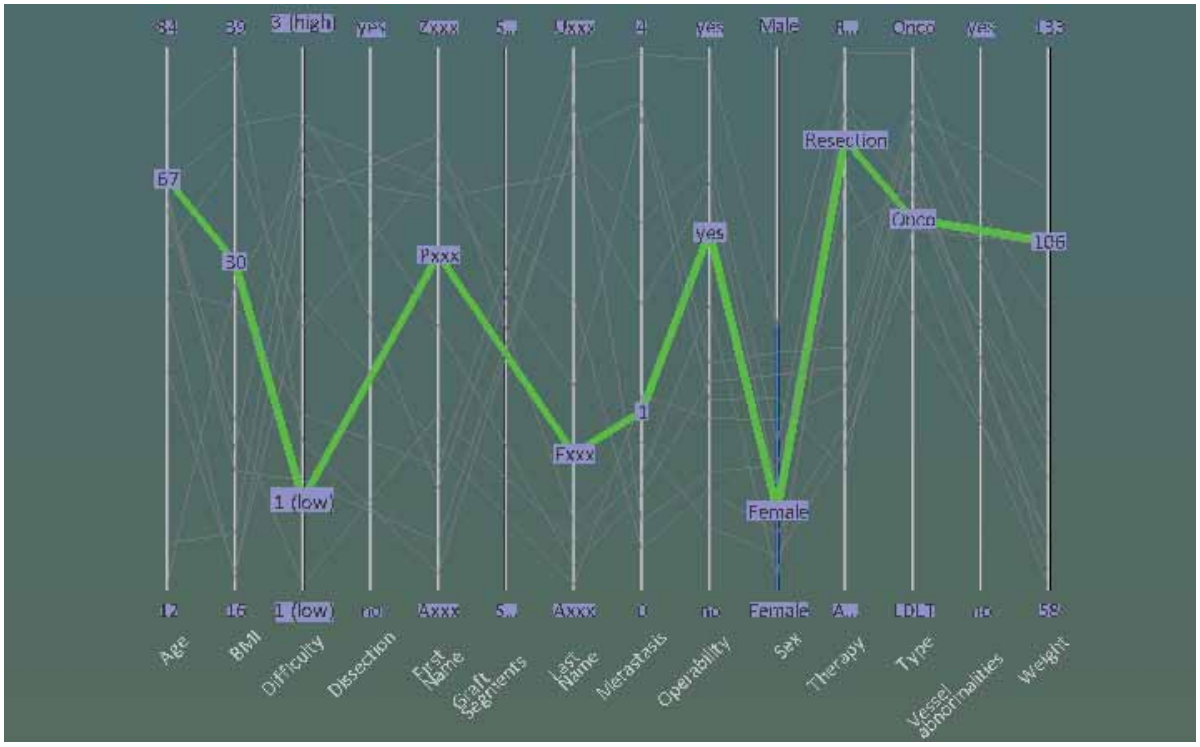


Abbildung 2.8: *Screenshot der Parallelen Koordinaten. Der Linienzug des Falls über dem sich der Mauszeiger befindet wird grün eingefärbt. Alle Werte des Falls werden als Tooltipps angezeigt. Der Achsenabschnitt „Female“ wurde selektiert, es werden alle Fälle ausgeblendet, die diese Eigenschaft nicht besitzen (in diesem Beispiel alle männlichen Patienten).*

2.3.6 Feedback und Lernerfolgskontrolle

Als Feedback sind „alle mitgeteilten Urteile von Lehrenden an Lernende über Lernstrategien, Lernfähigkeit oder die Lernzielerreichung“ anzusehen [Niegemann u. a., 2004]. Lernerfolgskontrollen dienen der Rückmeldung über den Lernprozess sowie der Steuerung und Sicherung des Lernens. Außerdem sind sie in der Lage die Lernenden zu motivieren. Durch angemessenes Feedback werden bestimmte kognitive bzw. emotionale Prozesse ausgelöst, die für den Lernerfolg notwendig sind. Um einen positiven Einfluss auf den Lernerfolg zu haben, muss das Feedback differenziert sein und in der Regel unmittelbar erfolgen. In einigen Fällen und bei komplexem Lernstoff kann auch eine verzögerte Präsentation der Rückmeldung hilfreich sein. Es sollte immer die richtige Lösung präsentiert werden. Nur so kann beim Lernenden die Wissensstruktur korrekt aufgebaut und der Lösungsweg gefestigt werden. Freundliche und sachliche Rückmeldungen wirken motivierend. Bei einem Fehler sollten die Lernenden aufgefordert werden, ihn zu verbessern. Die Korrektur des Fehlers erfolgt idealerweise unmittelbar und falls notwendig wird dafür Hilfestellung gegeben. Ein Lob nach der Verbesserung rundet den positiven Eindruck der gelieferten Rückmeldung ab [Niegemann u. a., 2004; Petschenka u. a., 2004].

Eine reine Rückmeldung, ob die Aufgabe richtig oder falsch gelöst wurde, wirkt sich nicht positiv auf den Lernerfolg aus. Ausführliches Feedback mit zusätzlichen Erläuterungen zur korrekten Antwort führt nicht zu besseren Leistungen als die reine Präsentation der richtigen Antwort in Kombination mit einer Aufforderung, den Fehler durch die korrekte Lösung zu ersetzen. Zusätzliche Erläuterungen führen dazu, dass der Lernende mehr Zeit für die Korrektur seiner Lösung benötigt und dadurch die Lerneffizienz geringer ist. In bestimmten Fällen sind zusätzliche Erläuterungen dennoch notwendig, um die Lösung für den Lernenden nachvollziehbar zu gestalten [Petschenka u. a., 2004].

Die ideale Rückmeldung beim Erwerb von *Faktenwissen*, ist die Mitteilung der korrekten Antwort bei Fehlern. Bei Lehrzielen, die das *Verstehen und Begriffslernen* fokussieren, reicht die Mitteilung der richtigen Antwort nicht aus. In diesem Fall sollten zusätzlich Begründungen geliefert werden, um die Lösung nachvollziehbar zu gestalten. Für Lehrziele, die *komplexes Regelwissen* beinhalten (wie sie in der chirurgischen Ausbildung häufig vorkommen), bietet sich bei fehlenden Tutoren die Präsentation einer Musterlösung an, die den Lösungsweg strukturiert beschreibt und begründet [Petschenka u. a., 2004].

Evaluatives und deskriptives Feedback. Evaluatives Feedback bezieht sich auf Belohnung oder Bestrafung bzw. auf Anerkennung oder Missbilligung. Deskriptives Feedback kann in Form von Informationen über die Richtigkeit der Antworten, über Erklärungen, warum eine Antwort richtig oder falsch ist, über erbrachte und nicht erbrachte Leistungen, über das Aufzeigen eines besseren Lösungsweges oder über die Präsentation von Wegen zur Verbesserung der Leistung des Lernenden geliefert werden [Niegemann u. a., 2004].

Weiterhin kann zwischen verschiedenen Formen bezüglich des Inhaltes des Feedbacks unterschieden werden [Niegemann u. a., 2004]:

- *Fehleranalytisches Feedback* ist mit großem Entwicklungsaufwand verbunden, wenn die Fragen im System automatisch generiert werden. Die Gründe einzelner falscher Antworten lassen sich nicht immer einem Wissens- oder Denkfehler zuordnen. Die Ursache lässt sich häufig erst nach mehreren Fehlern sicher herausfinden.

- *Automatische Tutoren* basieren auf Studien zu Rückmeldungen und effektivem Umgang mit Fehlern menschlicher Tutoren. Sie sind in der Lage, komplexe Äußerungen der Lernenden durch künstliche Intelligenz zu analysieren und zu bewerten. Nach einer kurzen Rückmeldung über die Korrektheit der Antwort gibt es verschiedene Vorgehensweisen des Systems. Es werden beispielsweise zusätzliche Informationen vom Lernenden erfragt. Fakten, Regeln oder zielführende Fragen werden präsentiert, um den Lernenden bei der selbstständigen Lösung zu unterstützen oder es werden fehlende Informationen ergänzt, die zum Verständnis wichtig sind.

- *Selbstregulierendes Feedback* wird durch Musterlösungen und Kriterienlisten für den Vergleich von Lösungen unterstützt. Die Lernenden können damit ihre Lösung selbstständig anhand der Kriterien mit den Beispiellösungen vergleichen, bewerten und Verbesserungen erarbeiten.

- *Natürliche Konsequenzen* sind eine weitere Form des Feedbacks, welche in Simulatoren genutzt wird. Die Lernenden bekommen kein explizites Feedback, sondern erkennen an den Folgen, ob ihr Handeln falsch oder richtig ist. Für ein effektives Lernen sind Hilfen zur Analyse und Erklärung der Fehler notwendig.

Die drei verbreitesten methodischen Ansätze zur Lernerfolgskontrolle sind Belohnungssysteme, spielerische Formen und anwendungsbezogene Formen der Kontrolle. *Belohnungssysteme* vergeben Punkte für richtig gelöste Aufgaben. Der Lernende und auch der Lehrer können anhand der Punktzahl den Lernerfolg bewerten. *Spielerische Elemente* werden häufig in Form eines Ratespiels eingesetzt. Bei einer gelungenen Umsetzung wirken sie motivierend auf die Lernenden und regen das Nachdenken und das Problemlösen an. Beide Ansätze geben allerdings keinen Aufschluss darüber, wie das Ergebnis erreicht wurde. Einen direkten Wissenstransfer stellen *anwendungsbezogene Lernerfolgskontrollen* sicher. Es wird überprüft, ob das vermittelte Wissen, die Problemlösestrategien oder die Fertigkeiten auf praktische Beispiele übertragen werden können. Diese Strategie wird im Rahmen von Simulationen und Mikrowelten eingesetzt [Wendt, 2003].

Die Güte der Lernerfolgskontrolle kann anhand von drei Hauptkriterien beurteilt werden. Die *Objektivität* bezieht sich auf die Unabhängigkeit der Ergebnisse von den Autoren der Lernerfolgskontrolle. Die *Reliabilität* beschreibt die Zuverlässigkeit der Kontrolle. Es wird die Übereinstimmung zwischen einem wahren und dem gemessenen Wert untersucht. Die *Validität* misst die Gültigkeit der Lernerfolgskontrolle in Bezug darauf, ob wirklich die Lernziele geprüft werden, deren Prüfung beabsichtigt ist [Weber, 2006].

2.3.7 Integration von Hilfen

In Lernprogrammen können die Nutzer durch technische und inhaltliche Hilfen unterstützt werden. Technische Hilfen beziehen sich direkt auf das System und seine Bedienung. Inhaltliche Hilfen bieten Unterstützung in Bezug auf die Lerninhalte. Beide Arten lassen sich weiterhin in allgemeine und kontextbezogene Hilfen einteilen.

Allgemeine Hilfen

Allgemeine technische Hilfen geben den Anwendern eine Einführung in die Bedienung des Systems. Dafür kann ein virtueller Rundgang genutzt werden, bei dem die einzelnen Schritte, Funktionen und möglicherweise notwendige Hintergrundinformationen erläutert werden. *Allgemeine inhaltliche Hilfen* werden häufig in Form von Lexika oder Glossaren angeboten, in denen alphabetisch sortiert Begriffe und Informationen rund um das Lernthema erläutert werden. Die Entwicklung einer Wissensdatenbank, in der Informationen multimedial aufbereitet zur Verfügung stehen, ist aufwendiger.

Kontextbezogene Hilfen

Kontextbezogene technische Hilfen geben gezielt Hilfestellung bei Problemen, die während des Lernprozesses bei der Bedienung des Systems auftreten. Wird beispielsweise in einem bestimmten Fenster Hilfe angefordert, werden die dort verfügbaren Funktionen und ihre Nutzung erläutert. *Kontextbezogene inhaltliche Hilfen* bieten dem Lernenden Unterstützung bei inhaltlichen Problemen, z.B. in Form von Lösungshinweisen oder Beispiellösungen der Aufgabe.

Kontextbezogene Hilfen sind allgemeinen Hilfen vorzuziehen, weil sie den Lernenden an der Stelle des Lernprozesses mit der Information, die er benötigt, unterstützen. Ihre Erstellung ist allerdings aufwendiger als die allgemeiner Hilfen, weil für jede Situation Hilfetexte formuliert werden müssen [Wendt, 2003].

2.3.8 Personalisierung interaktiver Lernsysteme

Die Nutzung personenbezogener Daten in e-Learning Systemen vermindert Redundanzen in administrativ-organisatorischer Hinsicht und trägt damit zu einem effektiveren Lernprozess bei. Die Berücksichtigung subjektiver Präferenzen und Gewohnheiten können sich außerdem positiv auf die Motivation der Lernenden auswirken [Niegemann u. a., 2004].

Ein trivialer Ansatz zur Adaption eines e-Learning Systems ist das Anlegen von *Nutzerprofilen*, in denen gespeichert wird, welche Aufgaben bzw. Trainingsfälle der Nutzer bereits bearbeitet hat. Zu Beginn des Lernprozesses kann der Lernende beispielsweise eine Liste mit Lernaufgaben oder Fällen anlegen, die er bearbeiten möchte oder er kann angeben, welches Maß an Unterstützung er wünscht. Vorlieben der Inhaltspräsentation, z.B. Schriftgröße oder die Präsentation von Bildern statt Videos, können ebenso gespeichert werden, wie die Einstellungen für 2D- oder 3D-Visualisierungen (z.B. Farben, Transparenzen).

Eine unmittelbare *Personalisierung des Lernstoffs* kann der Nutzer durch Annotationen vornehmen. Es können beispielswiese relevante Begriffe oder Erklärungen unterstrichen und markiert oder eigene Kommentare eingefügt werden. Die Personalisierung unterstützt den Lernenden bei der Wiederholung und Festigung des Lernstoffs. Die Annotationen können auch neu erworbenes Wissen beinhalten, dass durch seine schriftliche Fixierung auch für eine spätere Nutzung zur Verfügung steht [Lehmann, 2004].

Ein Ansatz zur automatischen Personalisierung von Lernsoftware ist die Anpassung der Lernmethoden und Lernsysteme im Verlauf des Lernprozesses durch sogenannte *pädagogische Agenten*. Dies geschieht in den meisten Fällen mit Hilfe mathematisch-statistischer Technologien. Es handelt sich dabei um ein sehr aufwändiges Vorgehen, da z.B. alle Aktionen, Antworten oder der Lernerfolg des Lernenden analysiert werden und auf dieser Basis beispielsweise die Reihenfolge oder Detailliertheit der Präsentation des Lernstoffs angepasst wird (siehe auch Abschnitt 2.3.3 - intelligente tutorielle Systeme) [Niegemann u. a., 2004]. Die Entwicklung agentenbasierter e-Learning Systeme ist mit einem hohen finanziellen Entwicklungs- und

Wartungsaufwand verbunden. Außerdem ist der Grad der Wiederverwendbarkeit gering. Aus diesen Gründen wird, trotz bewiesener Vorteile, diese Art der Adaption sehr selten genutzt. Es wird für adaptive e-Learning Umgebungen eine Standardisierung angestrebt, wie sie bereits für herkömmliche Systeme existiert (siehe Abschnitt 2.4). Der Aspekt der Adaptivität wurde in den existierenden e-Learning Standards bisher nicht berücksichtigt [Paramythis u. Loidl-Reisinger, 2004].

Adaptive Hypermedia Systeme (multimediale Hypertexte) generieren ein Modell der Ziele, Vorlieben und des Wissens der Benutzer, um das System mit seinen Informationen und Querverweisen (Verknüpfungen zwischen Informationen) während der Nutzung an den jeweiligen Nutzer anzupassen. Sie werden verstärkt im Bereich der Ausbildung eingesetzt und sind immer dann geeignet, wenn die Ziele und das Wissen der potentiellen Nutzergruppe sehr heterogen sind. Die Nutzer bekommen beispielsweise in einem Lernsystem ihrem Vorwissen entsprechend Links zu weiterführender Literatur angeboten. Es wird die Adaptivität der Informationspräsentation und die adaptive Unterstützung der Navigation unterschieden. Bei der Informationspräsentation wird in die Multimediapräsentation und die Textpräsentation aufgeteilt. Die Präsentation gespeicherter Texte kann beispielsweise durch das Einfügen/Löschen von Fragmenten oder das Modifizieren von Fragmenten angepasst werden. Die Anpassung der Navigation in einem Hypermedia System erfolgt zum Beispiel durch eine an den Nutzer angepasste Sortierung, Beschriftung oder Generierung von Querverweisen [Brusilovsky, 2001].

2.4 Richtlinien für die Entwicklung von e-Learning Angeboten

Für die Konzeption und Entwicklung von e-Learning Angeboten stehen zahlreiche Leitlinien und Standards zur Verfügung. Das Gremium für e-Learning der amerikanischen Luftfahrtindustrie (Aviation Industry Computer-Based Training Committee, AICC) hat Richtlinien und Empfehlungen für technische Aspekte bei der Erstellung und Verwendung von computer- und webbasiertem Training entwickelt. In den *AICC Guidelines and Recommendations* (AGR) werden unter anderem Hardwarevoraussetzungen, der Einsatz von digitalem Audio, die Interoperabilität von Peripheriegeräten und Eingabegeräten sowie Strategien für den Austausch von Kursinhalten zwischen verschiedenen Lernmanagementsystemen und Regeln für die Kooperation der Kurse mit dem Lernmanagementsystem beschrieben.

Es existieren weitere Standards und Richtlinien zur Erstellung, Beschreibung und Austausch der Lernkurse, deren Inhalte, Strukturen und Metadaten, beispielsweise der Standard *LOM (Learning Objekt Metadata)* zur Beschreibung von Lernobjekten des weltweiten Berufsverbandes der Ingenieure aus den Bereichen Elektrotechnik und Informatik (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), www.ieeeltsc.org).

Das Referenzmodell *SCORM* (www.scorm.com) beschreibt von verschiedenen technischen Spezifikationen und Standards die gemeinsame Nutzung. Es ermöglicht die Austauschbarkeit

und Wiederverwendbarkeit von e-Learning Inhalten und beschreibt ebenfalls die Kommunikation der Lerninhalte mit dem Lernmanagementsystem.

Es gibt Leitfäden für die *Entwicklung effektiver webbasierter medizinischer e-Learning Angebote*, die von medizinischen Autoren entwickelt wurden [Cook u. Dupras, 2004]. Es werden allgemeine Schritte der Konzeption und Entwicklung von webbasierten Lernsystemen erläutert, aber keine Hinweise für die Anwendung geeigneter spezieller Methoden und Techniken (z.B. der didaktischen Konzeption, Entwicklungstechniken, Multimediaeinsatz) gegeben.

Die Bundesärztekammer hat einen *Qualitätskriterienkatalog für e-Learning* herausgegeben [Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Ärztekammern, 2010], der Voraussetzungen und Kriterien für die Anerkennung von e-Learning Fortbildungsmaßnahmen sowie für strukturierte interaktive Fortbildung enthält. Der Kriterienkatalog ist in drei Abschnitte untergliedert: Eingangsvoraussetzungen, Grundkriterien und qualitätssteigernde Kriterien. Die Eingangsvoraussetzungen beziehen sich auf Produktneutralität, Rechtskonformität und Gewährung eines freien Angebotszugangs für die prüfende und/oder anerkennende Landesärztekammer. Die Grundkriterien und qualitätssteigernden Kriterien beinhalten jeweils einen unterschiedlichen Detailgrad für folgende Aspekte:

- Orientierungsmöglichkeiten
- Betreuungskonzept
- Didaktische Umsetzung
- Mediendidaktische und -technische Konzeption
- Evaluierung
- Formale und rechtliche Aspekte
- Funktionale Aspekte und Benutzerfreundlichkeit

Die Grundkriterien im Bereich der Orientierung sind beispielsweise eine Kurzbeschreibung des Inhalts des e-Learning Angebotes, die Nennung der Zielgruppe sowie des notwendigen Vorwissens und der technischen Voraussetzungen. Es sollte weiterhin ein Überblick über die Lernerfolgskontrollen, Prüfungsvoraussetzungen und ggf. Abschlüsse gegeben werden. Kriterien, die die Qualität einer Fortbildungsmaßnahme steigern, beziehen sich auf eine ausführliche Beschreibung des Angebotes, die auf den Inhalt, die Angebotsform (z.B. Blended Learning), den Ablauf, die Methoden und Sozialformen (z.B. Gruppenarbeit, selbstständiges Lernen), die zeitliche Verfügbarkeit und die Kosten eingeht.

Grundkriterien im Bereich der didaktischen Konzeption werden folgendermaßen angegeben: detaillierte Angabe zu den Lernzielen, außerdem müssen Quellenangaben vorhanden sein. Für eine qualitätsgesteigerte Form des Angebots muss ggf. neben der Nennung der Lernziele eine Abstimmung auf die jeweilige Präsenzveranstaltung erfolgen. Außerdem muss gewährleistet werden, dass die für die Erreichung der Lernziele notwendigen Inhalte zugänglich sind. Weiterhin müssen Angaben zur didaktischem Umsetzung der Lernziele gemacht werden, die sich

auf die Abstimmung der Inhalte mit den Lernzielen, die Messbarkeit des Erreichens der Lernziele, die Abstimmung der Lernziele und -methoden und die Erreichbarkeit der Lernziele im vorgesehenen Zeitrahmen beziehen.

Das *Kompetenzzentrum e-Learning in der Medizin Baden-Württemberg* hat sich ebenfalls mit der Erstellung eines *Kriterienkataloges für medizinische Lernprogramme* beschäftigt. Es wurden Kriterien sowohl für Lernsysteme als auch für Lerneinheiten erarbeitet. Der Schwerpunkt der Bewertung der Lernsysteme liegt auf der Akzeptanz durch Lernende und Lehrende. Dabei werden die Kategorien Anwenderfreundlichkeit (z.B. ansprechendes Design, eindeutige Steuerelemente und Funktionen, übersichtliche Navigation, Stabilität), Funktionalität (z.B. ausführliche Anleitung, Übersicht über Lerninhalte, Suchfunktion für Lerninhalte, kommunikative Elemente, Autorenwerkzeug), Administration (technischer Support - Kontaktmöglichkeiten, Benutzerverwaltung) betrachtet. Die Lerneinheiten werden auf ihre Eignung für den Einsatz in der medizinischen Ausbildung getestet. Dafür werden die Eignung der fachbezogenen Inhalte, der Einsatz der Mediendidaktik und -technik, der Einfluss ergonomischer Aspekte, das Konzept zum Einsatz in der Lehre und die rechtlichen Aspekte überprüft. Das Kompetenzzentrum analysiert mit Hilfe dieses Katalogs e-Learning Angebote dahingehend, ob sie dem definierten Standard zum Einsatz in der Lehre entsprechen und für welches Lernszenario (z.B. Vorlesung, Gruppenunterricht, Selbststudium) sie geeignet erscheinen. Die Voraussetzung für den Einsatz eines Angebotes ist die Entwicklung eines Unterrichtskonzepts für das Szenario [Scholz u. a., 2006].

2.5 Zusammenfassung und Diskussion

Bei der Erstellung (computerbasierter) Lern- und Trainingssysteme, sollten die in diesem Kapitel beschriebenen Grundlagen des Lernens und der Gestaltung von Lernumgebungen berücksichtigt werden. Für die Entwicklung und Gestaltung chirurgischer Trainingssysteme spielen im Rahmen dieser Arbeit der Motivation der Lernenden, das problemorientierte Lernen und Instruktionsdesignmodelle eine wichtige Rolle.

Bei der Bestimmung des Einsatzkontextes der Lernumgebung müssen die unterschiedlichen Hintergründe der Lernenden zur Nutzung des Systems und die Möglichkeiten zur Förderung ihrer *Motivation* einbezogen werden. Die unterschiedlichen Nutzertypen und ihre Eigenschaften müssen analysiert werden, um den Einsatz und die Akzeptanz des Systems zu erhöhen.

Das *problemorientierte Lernen* stellt in dieser Arbeit einen wichtige Strategie dar, weil es die Generierung von nicht-anwendbarem Wissen weitestgehend vermeidet. Es unterstützt den Erwerb effektiver fachspezifischer Problemlösekompetenzen, die Aneignung von selbstgesteuertem Lernen sowie die Steigerung der Motivation der Lernenden. Diese Art des Lernens spielt in der medizinischen Ausbildung eine große Rolle. Es sollte deshalb zur Unterstützung einer strukturierten und in einen Anwendungskontext eingebetteten Art und Weise des Lernens für chirurgische Trainingssysteme genutzt werden.

Instruktionsdesignmodelle bilden eine wichtige Grundlage bei der Entwicklung von Lernsystemen. Sie stellen sicher, dass der Lernstoff in Abhängigkeit der zu vermittelnden Kompetenzen, der Lernvoraussetzungen und der Rahmenbedingungen angemessen strukturiert und präsentiert wird, um einen bestmöglichen Lernerfolg zu gewährleisten.

In diesem Kapitel wurden die für diese Arbeit relevanten Modelle näher betrachtet. Das Modell des *Cognitive Apprenticeship* erscheint für die Konzeption chirurgischer Lernsysteme geeignet. Es spiegelt das in der medizinischen Ausbildung vorherrschende Meister-Lehrlings-Verhältnis wieder und überträgt es auf kognitive Lernbereiche. Es können die normalerweise im Verborgenen liegenden Gedankengänge der chirurgischen Experten für die Lernenden sichtbar gemacht werden.

Das Modell der *Goal-Based Scenarios* erscheint für die vorliegende Arbeit ebenfalls interessant, weil es für die Vermittlung von Fertigkeiten bzw. Handlungswissen und Faktenwissen im Zusammenhang mit realitätsnahen Problemstellungen eingesetzt wird. Für chirurgische Lernsysteme steht vor allem das Training von Handlungswissen im Vordergrund.

Das *Vier-Komponenten-Instruktionsdesign-Modell* setzt das Vorgehen des problemorientierten Lernens ebenfalls konsequent um. Es unterstützt die Aneignung von Fähigkeiten, die für eine Aufgabe benötigten Fertigkeiten zu erlernen sowie koordiniert und integriert anzuwenden. Die vorgesehene Übung von Teilfertigkeiten erschien für die Konzeption zweier, im Rahmen dieser Arbeit entstandenen, Trainingssysteme essentiell. Weiterhin ist an diesem Modell die Trennung von unterstützenden Informationen und benötigten einsatzsynchronen Informationen vorteilhaft. Dieses Modell wurde für die Entwicklung der Trainingssysteme LIVERSURGERYTRAINER und SPINESURGERYTRAINER favorisiert und erscheint generell für die Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme als sehr geeignet.

Der Einsatz von *e-Learning* bietet viele Vorteile. Die Gestaltung des Lernprozesses ist flexibler als die des konventionellen Lernens. Durch die vielfältigen Möglichkeiten des *Medieneinsatzes* können komplexe Inhalte anschaulich präsentiert werden. Richtig eingesetzt, können die unterschiedlichen Medien dabei unterstützen, komplexe Sachverhalte besser zu verstehen und eine kombinierte Präsentation die Behaltensleistung steigern. Die Inhalte der Lernumgebungen, vor allem webbasierter Systeme, können einfacher und schneller aktualisiert werden als beispielsweise in Büchern. Der schnelle Zugriff auf externe Inhalte kann über Hyperlinks ermöglicht werden. Die genannten Vorteile werden kontrovers diskutiert. Eine durchdachte didaktische Konzeption ist für die Umsetzung der Vorteile notwendig. Die von der konventionellen Lehre abgekoppelte Nutzung von e-Learning Systemen wird nicht empfohlen. Es fehlt häufig die für den Lernprozess wichtige Integration von Interaktion und Kommunikation (internetbasiert oder in Form von Präsenzveranstaltungen). Daher sollte bereits während der Konzeption die curriculare Integration des Systems einbezogen werden. Es existiert eine Reihe weiterer Punkte, die für die Entwicklung eines erfolgreichen Lernsystems beachtet werden sollten. Die wichtigen Aspekte wurden im Rahmen dieser Arbeit in *Empfehlungen* (siehe Kapitel 8) zusammengefasst. Besonders wichtig sind dabei eine detaillierte Anforderungsanalyse, die enge Einbindung der zukünftigen Anwender in den Designprozess sowie eine didaktische Konzeption.

3 Grundlagen interaktiver Systeme

In diesem Kapitel wird auf die für die Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme unmittelbar wichtigen Grundlagen interaktiver Systeme eingegangen. Das szenariobasierte Vorgehen bei der Konzeption von Software spielt in dieser Arbeit eine große Rolle und wird daher ausführlich beschrieben (Abschnitt 3.1). Die wichtigste Basis für die Konzeption eines Systems ist eine gut strukturierte Analyse der Ausgangsbedingungen. Die Analyse der Nutzer, die Definition und Strukturierung von Lernzielen wird in Abschnitt 3.2 erläutert. Abschnitt 3.3 beinhaltet das Vorgehen beim Requirements Engineering zur Ermittlung, Dokumentation, Überprüfung und Verwaltung der Anforderungen an das zu entwickelnde System. Es werden weiterhin Richtlinien und Standards für die Entwicklung interaktiver Systeme beschrieben. Der letzte Abschnitt (3.5) widmet sich der Usability Evaluation und den Arten ihrer Durchführung.

Die verschiedenen Phasen der Entwicklung interaktiver Systeme sind, wie alle Gestaltungsprozesse, nicht hierarchisch. Es eignet sich weder ein reiner Top-Down (Entwicklung vom Allgemeinen zum Speziellen) noch ein Bottom-Up (Entwicklung vom Konkretem zum Abstrakten) Ansatz für eine erfolgreiche Gestaltung. Die Entwicklung sollte ein iterativer Prozess sein. Auch wenn die Entwicklung interaktiver Systeme nicht streng linear erfolgt, sollte der Prozess der Entwicklung durch folgende Phasen strukturiert werden [Preim u. Dachselt, 2010]:

1. *Analysephase:* In der ersten Phase werden die Benutzer, ihre Eigenschaften und Wünsche sowie ihre Aufgaben und die typischen Nutzungskontexte analysiert. Ein mögliches Ergebnis dieser Phase ist eine detaillierte priorisierte Liste mit Anforderungen an das zu entwickelnde System. Dabei handelt es sich um Anforderungen, die die minimale Funktionalität des Systems, weitere wichtige und nützliche, aber nicht notwendige, Funktionen beschreiben. Die Liste der Anforderungen und ihrer Prioritäten ist nicht starr. Sie wird üblicherweise im weiteren Verlauf angepasst. Gerade im Bereich des e-Learnings spielt die genaue Untersuchung der Gruppe der Lernenden und ihrer Fähigkeiten (z.B. Vorwissen, Lernumgebung und -umstände) sowie des zu vermittelnden Wissens eine wichtige Rolle. Deshalb wird auf die Methoden der Analyse in Abschnitt 3.3 ausführlich eingegangen.

2. *Spezifikation und Design:* Basierend auf der Anforderungsliste werden verschiedene Designvorschläge erarbeitet, die auf ihre Vor- und Nachteile hin analysiert werden. Dabei wird auf die Strukturierung von Informationen, die Navigation, die Gestaltung des Layouts und die visuelle Gestaltung der Benutzeroberfläche eingegangen. Parallel zum Design des Systems entsteht die Spezifikation, die festlegt, welche Funktionalität und

welche Benutzungsschnittstellen umgesetzt werden sollen. Dafür werden häufig informelle Spezifikationsmethoden genutzt (z.B. Layoutskizzen, textuelle Beschreibungen). Formelle Methoden (z.B. UML-Diagramme) beschreiben das zu entwickelnde System eindeutiger, sind aber häufig nur von erfahrenen Entwicklern nutzbar, da die entstehenden Diagramme sehr komplex sind. Die semi-formale Methode des szenariobasierten Designs wird in Abschnitt 3.1 beschrieben.

3. *Umsetzung:* Die Umsetzung der Designideen erfolgt anfangs über Prototypen, die für wichtige Teilaspekte (z.B. das Layout oder dynamische Aspekte) erstellt und unter den Entwicklern und zukünftigen Benutzern diskutiert werden. Die Ergebnisse werden wiederum in die Spezifikation eingearbeitet. Globale Designentscheidungen sollten in Form von Richtlinien festgehalten werden, die als Grundlage für Evaluierungen herangezogen werden können.

4. *Evaluierung:* Für die Bewertung der Prototypen und der finalen Version eines Systems sind systematische Evaluierungen notwendig. Dabei spielt die Bewertung der Usability nach definierten Kriterien eine wichtige Rolle. Auf die verschiedene Arten der Evaluierung und ihre Operationalisierung wird in Abschnitt 3.5 eingegangen.

3.1 Szenariobasiertes Design

Die meisten Ansätze für die Softwareentwicklung gehen methodisch vor. Sie versuchen die Komplexität und Fluidität durch Filtern der Informationen und Zerlegen des zu lösenden Problems beherrschbar zu machen. Die Technik des szenariobasierten Designs von Software verfolgt einen anderen Ansatz. Die Komplexität und Fluidität des Designs sollen nicht kontrolliert werden. Sie werden dazu genutzt, mehr über das Problemgebiet zu lernen. Das wird durch eine Betrachtung des Problems aus unterschiedlichen Blickwinkeln und eine direkte Interaktion mit konkreten Situationen erreicht. Dieser Ansatz ermöglicht ein auf die Anwender konzentriertes Design. Der Fokus liegt auf den Aktivitäten, Fähigkeiten und Bedürfnissen der zukünftigen Benutzer. Szenarien beschreiben für eine Vielzahl an Nutzungsmöglichkeiten des Systems den Hintergrund der Anwendung, die handelnde(n) Person(en) und ihre Ziele. Sie beinhalten weiterhin die Aktionen, Überlegungen und Schlussfolgerungen der handelnden Personen und die Zustände, mit denen sie konfrontiert werden. Sie beinhalten weder abstrakte Ziele, noch technische Anforderungslisten oder funktionelle Spezifikationen, die zusätzlich erstellt werden müssen. Die Elemente des zukünftigen Systems tauchen im Szenario im Zusammenhang mit Benutzerinteraktionen auf. Sie können in Form textueller Geschichten, aber auch als Storyboard, Videos oder Prototypen erstellt werden.

Initial entwickelte Szenarien sind typischerweise grob, sie beschreiben beispielsweise, welche Aufgaben mit dem System ausgeführt werden können, aber noch nicht wie das erfolgt. Sie beschreiben im Verlauf das Design in unterschiedlichem Detaillierungsgrad und können bei Bedarf durch Beschreibungen der Hard- oder Softwarekomponenten ergänzt werden, die

die Funktionalität liefern. Szenarien mit hohem Detailgrad werden für die Hauptfunktionalität oder kritische Bedienung ausgearbeitet, während weniger problematische Szenarien nur skizziert werden.

Diese semi-informelle Spezifikationsmethode erleichtert die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Interessensvertretern und resultiert damit in einem System, an dem Expertise aus verschiedenen Richtungen erfolgreich beigesteuert wurde. Szenarien bieten einen konkreten Kontext für die Entwicklung und Integration verschiedener Perspektiven (z.B. Softwarearchitektur, Marketing, Lernaufwand, Produktionskosten, Benutzbarkeit) und Detailgraden. Sie ist insbesondere geeignet, eine komplett neue Systemunterstützung zu konzipieren. Der Vorteil der szenariobasierten Vorgehensweise liegt darin, implizit vorhandenes Wissen der Beteiligten zu erfassen. Szenarien eignen sich sehr gut als Basis für spätere formative Evaluierungen und Designbegutachtung [Carroll, 2000].

Beim Einsatz von Szenarien kann zwischen *Soll- und Ist-Szenarien* unterschieden werden. Ist-Szenarien beschreiben den Zustand vor der Entwicklung des Systems. Sie beinhalten Beschreibungen der zukünftigen Benutzer, ihrer Fähigkeiten und Wünsche sowie Informationen über die aktuelle Situation. Ist-Szenarien werden zu Beginn der szenariobasierten Entwicklung genutzt und besitzen die Form von User Stories. Aus diesen Ist-Szenarien können die Anforderungen abgeleitet und in Soll-Szenarien beschrieben werden. Die Ableitung der Anforderungen ist nicht einfach. Hierfür kommen häufig Kreativitätstechniken zum Einsatz. Soll-Szenarien beinhalten in der Anfangsphase demnach erste Ideen für das Design, die Inhalte und das Layout des Systems. Sie beschreiben die Lerninhalte und Lernziele des Trainingssystems sowie den Trainings- bzw. Planungsablauf. Die Soll-Szenarien werden in einer schrittweisen Verfeinerung und Konkretisierung bis hin zur Erstellung von Use Cases bearbeitet.

Das szenariobasierte Design wird seit vielen Jahren in der User Interface Entwicklung, beispielsweise beim Design von Webseiten und bei der Entwicklung betrieblicher Anwendungen eingesetzt [Hantscher u. Beringer, 2003], wobei sowohl die Anforderungs- und Nutzeranalyse als auch die Konzeption unterstützt wurde. Bei der Erstellung anwenderfreundlicher technischer Dokumentationen werden mit ihrer Hilfe nutzernah die Anforderungen und Handlungsabläufe sowie primäre und sekundäre Funktionen des jeweiligen Produktes ermittelt. Um den notwendigen Informationsbedarf zu bestimmen, werden dafür die üblichen Handlungen der Benutzer mit dem Produkt auf Basis von Szenarien erfasst. Schwierigkeiten in existierenden Bedienungsanleitungen können mit Hilfe der Szenarien aufgedeckt werden [Tanzer u. Buck, 2006]. Bei der Entwicklung eines Spracherkennungssystems war die Diskussion der Szenarien ebenfalls ein wesentlicher Teil des Design- und Entwicklungsprozesses. Sie dienten dazu, die Diskussionen zu fokussieren, Anforderungen der Benutzer zu eruieren und diese an die Entwickler zu kommunizieren [Karat, 1995].

3.1.1 Szenariobasiertes Usability Engineering nach Rosson u. Carroll [2001]

Beim szenariobasierten Usability Engineering nach Rosson u. Carroll [2001] werden die Szenarien in verschiedenen Schritten im Hinblick auf die unterschiedlichen Entwicklungsziele analysiert und umgewandelt. Dies geschieht in einem iterativen Prozess (siehe Abbildung 3.1).

Zu Beginn werden, basierend auf Feldstudien sowie Interviews mit den Auftraggebern und Nutzern, für die Analyse *problem scenarios* erstellt. Sie beschreiben die aktuelle Situation, charakterisieren die Nutzer, ihre typischen Aufgaben, Werkzeuge und den organisatorischen Kontext. Die Analyse und Verfeinerung der Szenarien wird durch Behauptungen (*claims*) bestimmt, die wichtige Merkmale einer Situation und die Auswirkungen auf den Nutzer enthalten. Beim Design des Systems helfen diese Anforderungen, die Funktionalität festzulegen. Sie unterstützen bei der Beurteilung von Alternativen, weil sie sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Benutzbarkeit beinhalten.

Der Designprozess wird beim szenariobasierten Design nach Rosson u. Carroll [2001] in drei Schritte gegliedert. Die *claims analysis* dient zur Identifikation und Diskussion der Hauptfunktionalität und Alternativen der Benutzbarkeit.

1. Im ersten Schritt werden *activity scenarios* erstellt, die typische oder wichtige bzw. möglicherweise problematische Interaktionen der Benutzer mit dem System beschreiben. Spezielle Details zur Gestaltung der Benutzeroberfläche oder zur Bedienung spielen in diesem Stadium keine Rolle.

2. Im nächsten Schritt werden *information scenarios* generiert, die die *activity scenarios* erweitern, indem sie die Informationen beschreiben, die den Nutzern im System bereitgestellt werden. Dieser Schritt ist sehr komplex, denn es müssen nicht nur die Informationen betrachtet werden, die der Nutzer auf dem Bildschirm betrachtet, sondern auch ihre angemessene Präsentation.

3. *Interaction scenarios* beschreiben zusätzlich detailgenau die Aktionen der Nutzer und das Feedback, das sie bekommen. Sie beinhalten die Nutzer, mögliche Aufgaben, Informationen die für die Ausführung benötigt werden sowie die Rückmeldung des Systems auf die Aktionen des Benutzers.

Die Designideen werden in einem kontinuierlichen Prozess immer wieder evaluiert. Das geschieht häufig mit Hilfe der Prototypen, die im Designprozess in unterschiedlichen Formen, unterschiedlicher Komplexität und Vollständigkeit erstellt werden. Evaluierungen werden als formative und summative Evaluierungen durchgeführt. Formative Evaluierungen leiten den Prozess des Redesigns des Systems. Es wird möglichen Problemen auf den Grund gegangen und über Lösungsmöglichkeiten nachgedacht. Die summative Evaluierung dient der Verifikation des fertigen Systems. Es wird geprüft, ob das entwickelte System der Spezifikation entspricht und ob die quantifizierten Usability Ziele erreicht wurden. Die Szenarien spielen bei den Tests eine große Rolle, denn sie beschreiben beispielsweise die Benutzer, ihre Motivation und andere Details, die großen Einfluss auf die Fähigkeit der Nutzer haben, ein System

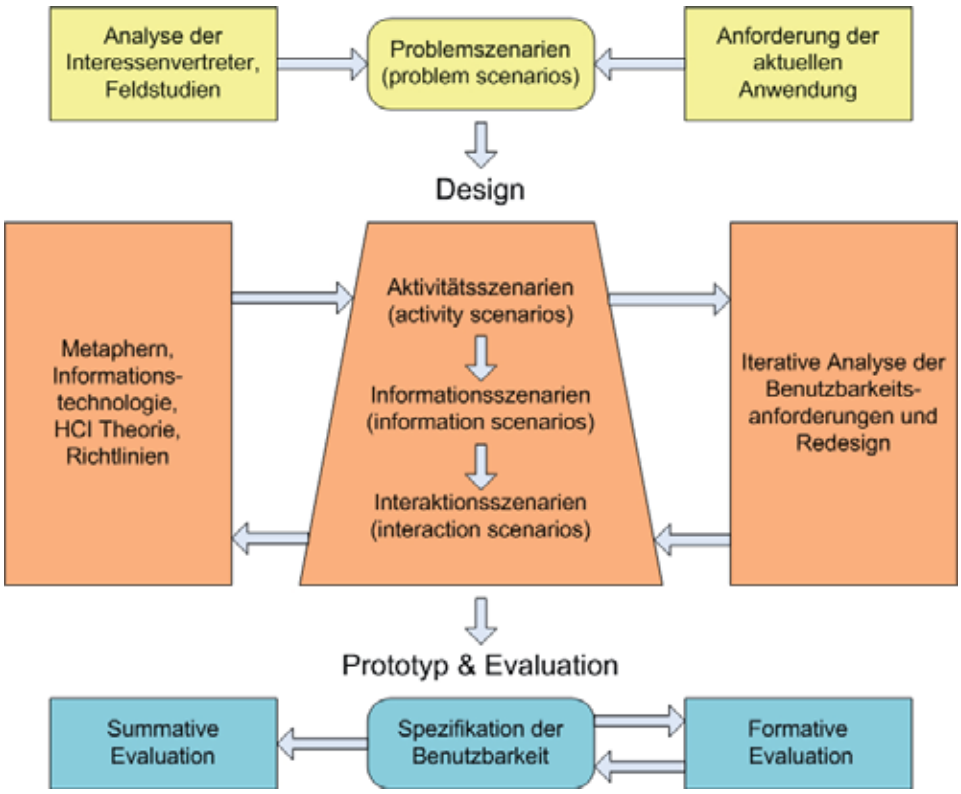


Abbildung 3.1: *Szenarien als Kernbestandteile eines User Interface Engineering Prozesses (modifiziert nach [Rosson u. Carroll, 2001])*

zu bedienen und zu schätzen. Sie beschreiben außerdem die Art der Ziele und Reaktionen, die während der Tests von Bedeutung sind.

3.1.2 Szenarien nach Benyon u. a. [2005]

Unter den Beschreibungen der szenariobasierten Entwicklung erscheint die von Benyon u. a. [2005] im Rahmen dieser Arbeit als 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. Die Use Cases können als UML-Diagramme entworfen werden. Die Unified Modeling Language ist eine Modellierungssprache auf grafischer Basis. Benyon u.a. unterscheiden vier Typen von Szenarien (siehe Abbildung 3.2), die in verschiedenen Stadien im Designprozess Anwendung finden:

1. *User Stories:* Sie werden zu Beginn der Entwicklung genutzt, um die Aufgaben, Erwartungen und Präferenzen der Benutzer zu verstehen. Sie beinhalten ausführliche Beschreibungen der Aktivitäten der Benutzer und den Zusammenhang, in dem sie geschehen. Insbesondere enthalten sie Begründungen und Motive der Handelnden.

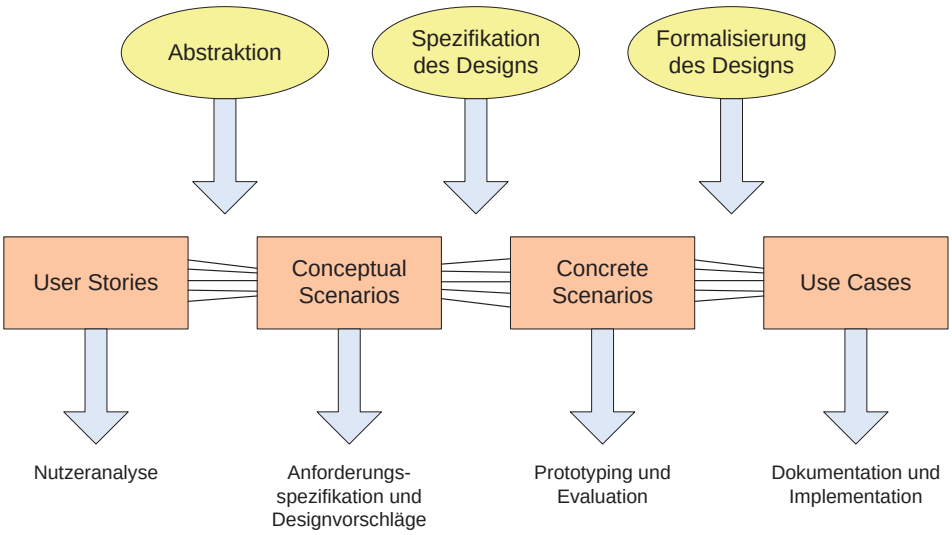


Abbildung 3.2: *Schrittweise Konkretisierung der Szenarien nach Benyon (modifiziert nach [Benyon u. a., 2005])*

2. *Conceptual Scenarios:* Die User Stories werden anschließend durch Abstraktion und Zusammenfassung zu Conceptual Scenarios. Diese werden genutzt, um die Anforderungen des Systems zu definieren und allgemeine Designvorschläge zu erstellen.

3. *Concrete Scenarios:* Für die Umsetzung der Designideen, für das Prototyping sowie für die Evaluierung eines Systems können aus einem Conceptual Scenario Concrete Scenarios generiert werden. Sie beinhalten konkrete Beschreibungen eines bestimmten Sachverhalts bzw. einer speziellen Funktion. Sie erfassen für das jeweilige Teilproblem spezifische Besonderheiten und die Umstände, unter denen sie auftreten.

4. *Use Cases:* Mehrere Concrete Scenarios werden wiederum zu Use Cases zusammengefasst, welche die Interaktion zwischen den Anwendern und dem Programm enthalten. Die erstellten Use Cases sollten die komplette Funktionalität des Systems sowie alle notwendigen Interaktionen einschließen. Use Cases können in vielfältiger Form angefertigt werden. Es können beispielsweise komplexe Diagramme (z.B. UML-Diagramme), Pseudocode oder Text zum Einsatz kommen.

Während der Erstellung der Szenarien erfolgt eine intensive Auseinandersetzung mit dem Anwendungsgebiet, so dass die Erhebung und Priorisierung der Anforderungen auf einer besseren Grundlage erfolgt, als beispielsweise allein auf Basis von Beobachtungen und Befragungen.

Zur Strukturierung der Szenarien werden jeweils separate Angaben zu den im Szenario handelnden Personen, ihren Aktivitäten, dem Kontext und den genutzten Technologien gemacht. Es werden jeweils die Versionen und die Autorenschaft gespeichert. Die Abschnitte der Szenarien sind für spätere Referenzierungen nummeriert und die aus einem Szenario resultierenden

Designentscheidungen werden als Fußnoten angefügt. Zur Illustration des Szenarios können Beispiele relevanter Daten oder Medien integriert werden.

3.1.3 Vergleich mit anderen Methoden

In diesem Abschnitt wird kurz auf Unterschiede und Gemeinsamkeiten der beschriebenen szenariobasierten Vorgehensweise nach Benyon u. a. [2005], im Vergleich zu inhaltlich oder namentlich verwandten Methoden, eingegangen.

Use Cases

In der Softwareentwicklung, speziell in der objektorientierten Entwicklung, spielen Use Cases eine zentrale Rolle bei der Spezifikation. Diese sind grob verwandt mit 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 [Rosson u. Carroll, 2001].

Prozessanalyse und -modellierung

Bei Prozessanalysen im industriellen Bereich werden die Komplexität und Dauer einer Handlung bestimmt, um zu verstehen, wie Prozesse gegenwärtig ablaufen und verbessert werden können. Dafür existieren verschiedene Verfahren, die zur Gestaltung, Analyse und Optimierung von Arbeitsprozessen eingesetzt werden (z.B. Methodenzeitmessung [Bokranz u. Landau, 2006]). Der angestrebte Zustand kann anschließend in einem Schritt der Prozessmodellierung beschrieben werden. Diese Art der Analyse und Spezifikation von Abläufen ist sehr formell und stellt damit allein keine gute Basis einer Projektbesprechung mit Endanwendern dar. Speziell im chirurgischen Tätigkeitsfeld werden erfolgreich Workflowanalysetechniken eingesetzt, um operative Abläufe formal zu analysieren, u.a. mit Blick auf die typische Reihenfolge von Aktionen oder die relative Häufigkeit von Instrumentenwechseln [Burgert u. a., 2007; Burgert u. Neumuth, 2010]. Diese Methoden haben sich vor allem bei der Abschätzung des Bedarfs für eine Computer- oder Roboterunterstützung im Operationssaal bewährt. Die Workflowanalyse unterstützt lediglich die Analysephase und ist nicht unmittelbar geeignet, die Konzeption, Entwicklung und Erprobung von Systemen zu unterstützen. Weiterhin bieten die oft sehr komplexen Diagramme keine gute Grundlage für eine Diskussion zwischen Entwicklern und Ärzten. Workflows (z.B. hierarchische Aufgabenanalysen) sollten dennoch als Ergänzung für die Entwickler zum Einsatz kommen.

User Stories nach Cohn [2004]

Mike Cohn führt eine weitere Definition von User Stories ein. Sie unterscheidet sich stark von den User Stories nach Benyon. Für Cohn sind User Stories vom Nutzer notierte kurze Beschreibungen (1-2 Sätze) relevanter Funktionalität. Sie dienen als Grundlage für Diskussionen zwischen den Nutzern und den Entwicklern und begleiten den kompletten Entwicklungsprozess. Auf ihrer Basis implementieren die Entwickler die Funktionalität. Die Nutzer entwickeln Vorschläge, wie diese Funktionalität getestet werden kann.

Beispiel „Entwicklung einer Webseite für die Arbeitsplatzsuche“ [Cohn, 2004]:

User Story: *Nutzer bekommen Informationen zu jedem Arbeitsplatz präsentiert, der den Suchkriterien entspricht.*

Tests:

- *Teste mit einer leeren Arbeitsplatzbeschreibung.*
- *Teste mit einer sehr langen Arbeitsplatzbeschreibung.*
- *Teste mit fehlendem Gehalt.*
- *Teste mit 6-stelligem Gehalt.*

Gemeinsam mit den Entwicklern werden die User Stories nach ihrer Wichtigkeit priorisiert und Entwicklungsschritten zugeordnet. Abschließend validieren die Benutzer durch Tests, ob die User Stories korrekt umgesetzt wurden. Diese Vorgehensweise wurde für die agile Softwareentwicklung eingeführt. Sie fördert die verbale Kommunikation zwischen den zukünftigen Anwendern und Entwicklern in besonderem Maß und ermöglicht eine enge Integration der Nutzer in alle Entwicklungsphasen. Allerdings stellt diese Methode hohe Ansprüche an die Verfügbarkeit der Nutzer, die im Alltag nicht immer umsetzbar ist. Vor allem für die Erstellung medizinischer bzw. chirurgischer Systeme erscheint dieses Vorgehen nicht geeignet, weil die Ärzte stark in den klinischen Alltag eingebunden sind und sich zahlreiche, regelmäßige Treffen in kurzen Abständen selten realisieren lassen. Eine gute Alternative stellt deshalb das szenariobasierte Design dar, bei dem die Ärzte zu Beginn stark an der Erstellung der Szenarien beteiligt sind und an den nachfolgenden Schritten zwar idealerweise teilhaben sollten, aber ihre dauerhafte Anwesenheit nicht notwendig ist.

3.2 Analyse der Ausgangsbedingungen

Bevor die Umsetzung eines Softwaresystems begonnen wird, ist eine ausführliche Analyse des Problems und dem daraus resultierenden Bedarf nach einem neuen System wichtig. Weiterhin müssen die Zielgruppe, ihre Eigenschaften, der Einsatzkontext, die zur Verfügung stehenden Ressourcen sowie, im Fall der Entwicklung eines Lernsystems, das zu vermittelnde Wissen bestimmt werden. Im Folgenden wird auf zwei für die Erstellung von Lernsystemen besonders wichtige Schritte eingegangen: die Analyse der zukünftigen Nutzer und die Definition und Strukturierung der Lernziele. Für eine ausführliche Beschreibung aller Analyseschritte wird auf weiterführende Literatur verwiesen, z.B.: Preim [1999]; Preim u. Dachselt; Rosson u. Carroll [2001]; Benyon u. a. [2005]; Niegemann u. a. [2004].

3.2.1 Nutzeranalyse

Bei der Nutzeranalyse muss untersucht werden, ob es sich bei den zukünftigen Nutzern um eine homogene oder heterogene Gruppe handelt. Außerdem sind ihre Kenntnisse, Erfahrungen, Einstellungen, Wünsche und kulturellen Hintergründe wichtig. Die Entwicklung für eine heterogene Zielgruppe ist mit mehr Aufwand verbunden, weil diverse Abstufungen der Unterstützung, mehr Lernwege und Schwierigkeitsniveaus geplant und umgesetzt werden müssen, um die didaktischen Qualitätsansprüche zu erfüllen. Es werden die Lernvoraussetzungen der Zielgruppe ermittelt [Niegemann u. a., 2004]. Die Klassifikation der Nutzer kann auf drei Ebenen erfolgen [Herczeg, 2005]:

- Es kann zwischen *Anfängern, Gelegenheitsnutzern, routinierten Nutzern und Experten* unterschieden werden. Anfänger müssen erst ein mentales Modell des Systems entwickeln. Dafür benötigen sie eine leicht erlernbare Grundfunktionalität. Gelegenheitsnutzer arbeiten nur selten mit dem System, sie haben keine Ambitionen sich verstärkt damit auseinander zu setzen, so dass sich kaum Gewohnheiten im Umgang mit dem System herausbilden. Routinierte Benutzer bedienen das System häufig und lange. Sie besitzen ein ausgeprägtes mentales Modell und sind an einer effizienten Nutzung interessiert. Experten wollen Arbeitsschritte möglichst stark automatisieren und individualisieren. Sie stellen aber in den meisten Fällen eher eine kleine Gruppe der Benutzer dar. Dennoch haben sie oft als Meinungsbildner einen großen Einfluss auf die Akzeptanz eines Systems. Es ist wichtig, das Verhältnis der Nutzer in Bezug auf die Erfahrungen abzuschätzen, um die Software angemessen zu konzeptionieren.

- Die Benutzer können außerdem nach *organisatorischen Rollen* klassifiziert werden. Ein System kann beispielsweise von Nutzern unterschiedlicher Altersgruppen oder Berufsgruppen mit unterschiedlichem Ziel genutzt werden.

- *Persönlichkeitsunterschiede* spielen ebenfalls eine Rolle. Nutzer können erkundungsfreudig sein oder gewohnte Abläufe bevorzugen. Sie können entscheidungsfreudig sein oder Entscheidungen erst nach gewissenhafter Recherche und langem Abwägen treffen.

Auch *kulturelle Unterschiede* (z.B. Leserichtung, Farbwirkung) sollten berücksichtigt werden.

Neben allgemeinen Eigenschaften der Zielgruppe (z.B. Alter, Bildungsstand), ihrem Vorwissen und ihren Erfahrungen sind für die Konzeption eines Lernsystems außerdem noch folgende Eigenschaften der zukünftigen Nutzer von besonderem Interesse [Niegemann u. a., 2004]:

- *Lerngeschichte:* Sind die Nutzer bereits mit selbstständigem und computer- oder webbasiertem Lernen vertraut, müssen andere Hilfen und Einführungen angeboten werden, als für Nutzer ohne entsprechende Erfahrungen.
- *Lernmotivation und Einstellung zum Inhalt:* Für die Lernmotivation spielen beispielsweise die Freiwilligkeit des Lernens und die Auswirkungen der Ergebnisse eine wichtige Rolle.
- *Interessen und persönliche Zielsetzung:* Für die Wahl von Analogien und Beispielen können gemeinsame Interessen der Nutzer herangezogen werden.

Die verschiedenen Lernstile finden heute in der Konzeption von Lernumgebungen keine Berücksichtigung mehr, weil die Integration von Messverfahren zur Identifikation der Lernstile der Nutzer sehr aufwändig ist. Außerdem gibt es keine wissenschaftlich belegten Aussagen, welches didaktische Vorgehen welchen Lernstil am besten unterstützt [Niegemann u. a., 2004].

Als Grundlage für die Charakterisierung der Benutzer und die Diskussion der Entwurfsentscheidungen können neben Szenarien auch Personas herangezogen werden. Personas [Cooper u. a., 2007] sind ausführliche Beschreibungen fiktiver Nutzer (möglicherweise für das System irrrelevanten Informationen), die für eine emotionale Identifikation der Entwickler mit den potentiellen Benutzern eingesetzt werden. Wichtige Bestandteile sind u.a. das Leseverhalten, der Lernstil, Familienverhältnisse, Sprachkenntnisse, Nationalität, Ausbildung und Beruf [Herczeg, 2005].

3.2.2 Definition und Strukturierung von Lernzielen

Die Definition und Strukturierung der Lerninhalte kann in einem dreistufigen Prozess erfolgen. Zu Beginn muss das Lernthema so präzise wie möglich formuliert und eingegrenzt werden. Die Nutzung einer Mind Map ist bei diesem Arbeitsschritt hilfreich, denn alle Begriffe und Themen, die mit dem Lernthema in Verbindung stehen, werden notiert und ihre Zusammenhänge anschaulich gemacht. Aus dieser Übersicht wird eine hierarchische Struktur des Lernthemas erstellt.

In der zweiten Phase werden Lernziele erstellt, die für die Gliederung und Extraktion wichtiger Informationen hilfreich sind. Die hierarchischen Zielformulierungen lassen sich voneinander ableiten. Sie bilden die Basis des zu vermittelnden Lernstoffes und damit aller Lernbausteine. Jedes Lernziel ist einem Lernschritt zugeordnet und beschreibt, in welcher Form und Qualität der Lernende das Zielverhalten beherrschen soll. Die Ziele werden in Abhängigkeit ihres Abstraktionsgrades in *Richtziele, Grobziele und Feinziele* unterschieden (siehe Abbildung 3.3).

Auf der Ebene der Feinziele sollten die Zielformulierungen überprüfbares aktives Verhalten beschreiben. Im Folgenden wird zur Verdeutlichung der Begriffe ein Beispiel aus der Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINERS (siehe Kapitel 6) präsentiert:

Richtziel: *Der Lernende ist in der Lage, am virtuellen 3D-Modell der Leber alle notwendigen Schritte für die Planung der Entfernung von Lebergewebe vorzunehmen.*

Grobziel 1: *Der Lernende ist in der Lage, anhand der CT-Schichtbilddaten die individuelle Anatomie der Leber und Lebergefäße des Patienten zu beurteilen.*
Feinziel 1.1: *Der Lernende beherrscht das Scrollen durch die CT-Schichtbilddaten.*
Feinziel 1.2: *Der Lernende ist in der Lage, die Anatomie der Portalvene anhand der CT-Schichtbilddaten zu beurteilen.*

Grobziel 2: *Der Lernende ist in der Lage, am virtuellen 3D-Modell der Leber eine Resektion vorzunehmen.*
Feinziel 2.1: *Der Lernende beherrscht das Einzeichnen einer Resektionslinie in einer CT-Schicht.*
Feinziel 2.2: *Der Lernende ist in der Lage, das im Patienten verbleibende Lebervolumen durch das Setzen eines Markers zu bestimmen.*

Die Lernziele werden in der dritten Phase nach ihrer Priorität und ihrem Zusammenhang in *Lektionen, Lerneinheiten und Lehrschritte* gegliedert. Aus den Grobzielen werden Lektionen abgeleitet. Eine Lektion setzt sich aus mehreren Lerneinheiten zusammen, deren Basis die Feinziele sind. Die Lehrschritte sind in der Lehrzielhierarchie nicht repräsentiert. Sie beinhalten die Umsetzung der Lerneinheiten. Durch diese Einteilung wird vorgegeben, wann welche Lerninhalte vermittelt werden sollten, um Lernerfolg zu gewährleisten [Wendt, 2003].

Bei einer chronologischen Abfolge des Lehrstoffs ist häufig die Vermittlung von Zusammenhängen problematisch. Eine Alternative zur Vorgehensweise alle Voraussetzungen für folgende Lerninhalte zu Beginn des Curriculums oder Kurses zu präsentieren, ist die Vermittlung des Wissens an der Stelle, wo es benötigt wird. Das notwendige Vorwissen wird direkt vor der Lehreinheit gelehrt, in der es von Bedeutung ist, so wie es auch das 4C/ID-Modell (siehe Abschnitt 2.2.4) vorsieht.

Für die Reihenfolge der Präsentation der Lerninhalte gibt es verschiedene Vorgehensweisen. Sollen mehrere Themen vermittelt werden, kann das in *linear-sukzessiver Struktur* oder in *Spiralsequenzierung* erfolgen. In der Praxis wird häufig eine auf die Lerninhalte angepasste Mischform der Sequenzierung angewandt.

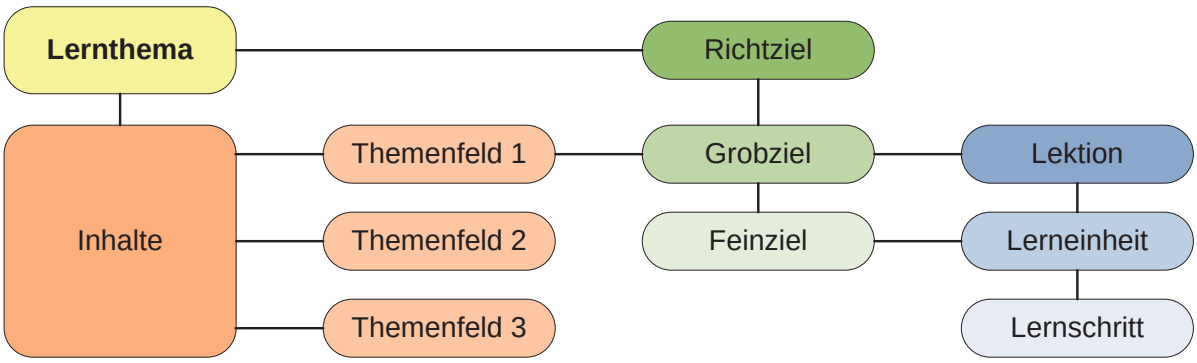


Abbildung 3.3: *Die Lerninhalte werden Lernzielen zugeordnet, die sich in Richtziele, Grobziele und Feinziele untergliedern und als Basis für die Definition der Lektionen, Lerneinheiten und Lernschritte des Systems dienen (modifiziert nach [Wendt, 2003]).*

Bei der linear-sukzessiven Sequenzierung werden die Themen nacheinander behandelt, bis die jeweilige Kompetenz erreicht ist. Die Lernenden konzentrieren sich dabei über einen längeren Zeitraum auf ein Thema. Sie vergessen allerdings häufig viel, wenn sie zum nächsten Thema übergehen. Die Vermittlung von Zusammenhängen zwischen den Themen ist schwierig.

Eine Sequenzierung der Lerninhalte in Spiralstruktur sieht die Bearbeitung der Themen in mehreren Phasen vor. Es werden erst die Grundlagen aller Themen betrachtet. Die Themen werden anschließend nach und nach vertieft, bis bei allen Themen die gewünschten Kenntnisse oder Fertigkeiten erreicht sind. Die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Themen werden bei diesem Vorgehen viel klarer und der notwendige Rückblick beim stetigen Wechsel zwischen den Themen stellt ein besseres Behalten sicher. Die häufigen Wechsel sind allerdings auch nachteilig, weil die Bearbeitung immer wieder unterbrochen wird [Niegemann u. a., 2004].

3.3 Requirements Engineering

Beim Requirements Engineering werden die Anforderungen der Kunden an das zu entwickelnde System ermittelt, dokumentiert, geprüft, abgestimmt und verwaltet. Fehler sollten möglichst frühzeitig erkannt und behoben werden können. Eine gewissenhafte Analyse der Benutzer und ihrer Aufgaben stellt das Fundament einer benutzergerechten Entwicklung eines interaktiven Systems dar. Es wird zwischen drei Arten von Anforderungen unterschieden [Pohl u. Rupp, 2009]:

1. *Funktionale Anforderungen* legen die Funktionalität des Systems fest. Sie können in Funktions-, Verhaltens und Strukturanforderungen unterteilt werden.

2. *Qualitätsanforderungen* beziehen sich auf die Qualität des Systems und beinhalten Anforderungen an die Performance, Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Skalierbarkeit und Portabilität.

3. *Randbedingungen* sind nicht beeinflussbar und beziehen sich auf organisatorische oder technologische Vorgaben, die sich auf die Realisierung des Systems einschränkend auswirken.

Die Definition der Anforderungen setzt sich aus drei Analysephasen zusammen: Aufgabenanalyse, Benutzeranalyse und die Analyse der Rahmenbedingungen [Preim u. Dachselt, 2010].

Für die Definition der Anforderungen sollten verschiedene Personengruppen (Stakeholder) einbezogen werden. Es sollten Personen berücksichtigt werden, die das System nutzen werden sowie Personen, die Interesse am System haben, es aber nicht selber nutzen werden (Management) und juristische Personen oder Institutionen (die Anforderungen beeinflussen oder definieren können) [Pohl u. Rupp, 2009].

3.3.1 Ermittlung des Systemkontexts

Vor der Ermittlung der Anforderungen und als deren grundlegende Basis muss das zu entwickelnde System von seiner Umgebung abgegrenzt werden. Es muss definiert werden, welcher Teil der Umgebung des Systems einen Einfluss auf die Definition und das Verständnis der Anforderungen hat. Das können Personen, andere Systeme oder Prozesse, Ereignisse und Dokumente sein. Für die Definition des Systemkontexts muss das System vom Umfeld abgegrenzt werden, das durch den Entwicklungsprozess nicht verändert werden kann. Alle Aspekte innerhalb dieser Grenzen gehören zum Systemkontext und können im Entwicklungsprozess geändert oder gestaltet werden. Aspekte des nicht-veränderbaren Umfeldes müssen daraufhin überprüft werden, ob sie Anforderungen oder Randbedingungen darstellen. Für die Dokumentation werden häufig Zustandsübergangsdiagramme (z.B. Use-Case-Diagramme, UML-Diagramme) verwendet [Pohl u. Rupp, 2009].

3.3.2 Definition der Anforderungen

Die Definition der Anforderungen erfolgt auf der Grundlage des festgelegten Systemkontexts. Dafür stehen drei Arten von Quellen zur Verfügung: Stakeholder, Dokumente (z.B. Normen, Gesetzestexte, Anforderungsdokumente eines Altsystems) oder laufende Systeme, auf deren Basis gewünschte Erweiterungen oder Änderungen spezifiziert werden können. Entsprechend der Bedeutung der Anforderungen für die Zufriedenheit der Benutzer können sie in eine der drei Kategorien eingeordnet werden [Pohl u. Rupp, 2009]:

1. Basisfaktoren (als selbstverständlich angesehene Anforderungen) werden häufig nicht geäußert, was möglicherweise zu Missverständnissen führt.

2. Leistungsfaktoren (bewusst geforderte Merkmale)

3. Begeisterungsfaktoren (zunächst unbekannte, dann nützliche Merkmale)

Mit Hilfe unterschiedlicher Techniken können die Anforderungen der Stakeholder an das zu entwickelnde System erfasst werden. Die Wahl der Technik ist von den kritischen Randbedingungen des Projektes abhängig. Diese Risikofaktoren betreffen in der Mehrzahl menschliche, organisatorische oder inhaltlich fachliche Einflüsse. Ein kombinierter Einsatz mehrerer Ermittlungstechniken gleicht Stärken und Schwächen unterschiedlicher Techniken aus [Pohl u. Rupp, 2009].

Befragungen werden eingesetzt, um das explizite Wissen der Stakeholder zu ermitteln. Daraus können Aussagen über die Anforderungen an das System abgeleitet werden. Befragungen können in Form von Interviews durchgeführt werden. Es wird zwischen strukturierten (vor dem Interview entwickelte Fragen) und semi-strukturierten Interviews (vorbereitete Fragen werden im Verlauf angepasst) unterschieden. Den Stakeholdern werden Fragen gestellt und die Antworten protokolliert. Der Interviewer sollte den Ablauf der Befragung individuell anpassen, auf entstehende Fragen eingehen und möglichst auch unbewusste Anforderungen aufdecken. Eine weitere Befragungstechnik stellen Fragebögen, die offene oder geschlossene Fragen beinhalten können, dar. Mit geringem Zeit- und Kostenaufwand können viele Stakeholder befragt werden. Die Fragen sind festgelegt und es besteht die Gefahr, dass auf wichtige Aspekte nicht eingegangen wird oder Unklarheiten in der Fragestellung erst bei der Auswertung auffallen. Vor allem Leistungsfaktoren lassen sich mit Befragungen gut ermitteln [Pohl u. Rupp, 2009; Benyon u. a., 2005; Preim u. Dachselt].

Kreativitätstechniken eignen sich, um die Begeisterungsfaktoren eines Systems zu ermitteln. Mit ihrer Hilfe können allerdings keine detaillierten Systemanforderungen festgelegt werden. Die am häufigsten angewandten Techniken sind das Brainstorming, der Perspektivwechsel und die Analogietechnik [Pohl u. Rupp, 2009].

Dokumentenzentrierte Techniken kommen häufig bei der Ablösung eines Systems durch ein neues zum Einsatz. So wird sichergestellt, dass die komplette Funktionalität des alten Systems bekannt ist und auf dieser Basis die Anforderungen an das neue System herausgearbeitet werden können. Es handelt sich hierbei um Basisanforderungen. Die dokumentenzentrierte Technik sollte mit anderen Ermittlungstechniken kombiniert werden, um die definierten Anforderungen zu validieren [Pohl u. Rupp, 2009].

Beobachtungstechniken kommen in Situationen zum Einsatz, in denen die Stakeholder das benötigte Wissen nicht explizit formulieren können oder es den Entwicklern aufgrund des mangelnden Wissens über die Stakeholder und ihre Aufgaben in frühen Phasen der Entwicklung nicht möglich ist, präzise Fragen zu formulieren. Sie werden stattdessen bei ihrer Arbeit beobachtet und ihre Arbeitsschritte, ebenso wie potentielle Fehler, Risiken und offene Fragen, werden protokolliert. Durch seine externe Position ist der Beobachter möglicherweise in der Lage, ineffiziente Prozesse zu erkennen und für den Stakeholder selbstverständliche Basisfaktoren zu identifizieren. Eine spezielle Form sind Feldbeobachtungen, bei denen der Beobachter eine passive Rolle einnimmt und alle Abläufe protokolliert werden. Als Unterstützung können Audio- oder Videoaufnahmen zum Einsatz kommen. Beim „Apprenticing“ nimmt der Beobachter eine aktive Rolle ein und muss die Tätigkeiten der Stakeholder erlernen und ausführen. Dabei hinterfragt er unklare Handlungsschritte. Auf diese Weise können Anforderungen ermittelt werden, die für die Stakeholder selbstverständlich sind. Mit Hilfe von Beobachtungen

werden hauptsächlich Basisfaktoren des zu entwickelnden Systems bestimmt [Pohl u. Rupp, 2009; Preim u. Dachselt].

3.3.3 Dokumentation und Priorisierung der Anforderungen

Die Ergebnisse der Ermittlungstechniken und die daraus abgeleiteten Anforderungen müssen geeignet gespeichert und verwaltet werden. Die Dokumentation kann auf natürlichsprachliche Weise geschehen (z.B. Szenarien, siehe Abschnitt 3.1), wobei die Gefahr besteht, dass Mehrdeutigkeiten entstehen und unterschiedliche Perspektiven (Struktur-, Funktions- und Verhaltensperspektive) vermischt werden. Dennoch ist die Dokumentation von Anforderungen in natürlicher Sprache die am häufigsten genutzte Form der Dokumentation. Eine perspektivabhängige Dokumentation erlaubt konzeptuelle Modelle (z.B. Use-Cases, Aktivitätsdiagramme), die mit Hilfe einer speziellen Modellierungssprache die Anforderungen in kompakterer und für geübte Leser verständlicherer Form darstellen. Die Voraussetzung für die Erstellung und Interpretation dieser Modelle sind spezielle Modellierungskenntnisse [Pohl u. Rupp, 2009].

Aufgrund der in den meisten Fällen begrenzten Anzahl an Ressourcen eines Projektes, können nicht alle Anforderungen umgesetzt werden. Eine Möglichkeit dafür ist die Priorisierung der Anforderungen mit Hilfe der MoSCoW Regeln. Die Anforderungen werden in vier Kategorien gegliedert [Benyon u. a., 2005]:

- *Muss umgesetzt werden (**M**ust have):* Das sind Anforderungen, ohne die das System nicht funktionieren würde oder nutzlos wäre. Sie repräsentieren die unbedingt notwendige Teilmenge.
- *Sollte umgesetzt werden (**S**hould have):* Weitere wichtige Anforderungen, die essentiell sind, aber ohne die das System trotzdem nutzbar und nützlich ist.
- *Kann umgesetzt werden (**C**ould have):* Anforderungen mit geringer Wichtigkeit.
- *Wird aufgeschoben (**W**ant to have but Won´t have this time around).* Anforderungen, deren Umsetzung vorgemerkt wird.

Die Priorisierung sollte mit Hilfe der Nutzer und Klienten erfolgen.

3.4 Richtlinien interaktiver Systeme

Es existieren viele etablierte Richtlinien und Standards für die Entwicklung interaktiver Systeme. Im Folgenden wird auf Grundsätze und Normen eingegangen, die sich auf interaktive Systeme im Allgemeinen beziehen und unbedingt bei der Erstellung von Lernsystemen beachtet werden sollten.

Shneiderman u. Plaisant [2009] beschreibt für die Mensch-Computer-Interaktion die *Acht goldenen Regeln für Dialog Design*:

- Strebe nach Konsistenz
- Stelle Shortcuts (Tastaturkürzel) für Experten zur Verfügung
- Biete informative Rückmeldungen
- Verwende abgeschlossene Dialoge
- Ermögliche einfache Fehlerbehandlung
- Ermögliche einfache Umkehrung von Aktionen
- Ermögliche interne Kontrolle
- Verringere Abfragen des Arbeitsgedächtnisses

Er geht weiterhin auf Richtlinien für die Gestaltung von Benutzeroberflächen, Regeln für die Navigation, Gliederung des Bildschirms, Aufmerksamkeitssteuerung und Dateneingabe ein.

Nielsen [1994] stellte, basierend auf einer Analyse typischer Usability Probleme, zehn Richtlinien für Eigenschaften eines gut benutzbaren Systems auf:

- Sichtbarkeit des Systemstatus
- Übereinstimmung zwischen System und realer Welt
- Benutzerkontrolle und Freiheit
- Konsistenz und Standards
- Fehler vermeiden
- Erkennen vor Erinnern
- Flexibilität und effiziente Nutzung
- Ästhetisches und minimalistisches Design
- Unterstützung beim Erkennen, Verstehen und Bearbeiten von Fehlern
- Hilfe und Dokumentation

Die *Norm EN ISO 9241*, ein internationaler Standard für die Gestaltung von Systemen mit hoher Usability, regelt ergonomische Anforderungen in der Mensch-System-Interaktion für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Sie bezieht sich auf die Arbeitsumgebung, Hardware und Software.

EN ISO 9241-110. Dieser Teil der ISO-Norm 9241 enthält Grundsätze für die ergonomische Gestaltung und Bewertung von Dialogsystemen. Es existieren sieben Grundsätze für die Gestaltung mit allgemeinen Empfehlungen und Beispielen:

- Aufgabenangemessenheit
- Selbstbeschreibungsfähigkeit
- Erwartungskonformität

- Steuerbarkeit
- Individualisierbarkeit
- Lernförderlichkeit
- Fehlertoleranz

Die Grundsätze und Empfehlungen sind als Grundlage für die Konzeption sowie für die Gestaltung und Evaluierung einsetzbar. Es werden Nutzermerkmale (Wahrnehmung, Gedächtnis), Aufgabenanforderungen (Sicherheit, Geschwindigkeit), Umgebungsanforderungen (Ziele der Organisation, Technik) und Dialogtechnik (Sprachschnittstellen) in den Grundsätzen berücksichtigt.

EN ISO 9241-11. Dieser Teil der ISO-Norm 9241 definiert Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit von Systemen. Nutzer sollen ihre Aufgabe in einem bestimmten Nutzungskontext effektiv, effizient und zufriedenstellend erledigen können. Dafür erläutert die Norm die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit durch Messung von Effizienz und Zufriedenheit sowie Prinzipien und Techniken zur Beschreibung des Nutzungskontextes und Maße der Gebrauchstauglichkeit [Sarodnick u. Brau, 2006].

Die *DIN EN ISO 13407* ist weitere wichtige Norm für die Gestaltung interaktiver Systeme. Sie dient als Anleitung für Projektmanager zur benutzerorientierten Gestaltung, bei der eine Integration von technischen, organisatorischen, ergonomischen, sozialen und menschlichen Faktoren in einen ganzheitlichen Gestaltungsprozess notwendig ist. Die Grundsätze enthalten unter anderem Aspekte zur Integration der Nutzer in die Entwicklung, zur geeigneten Funktionsaufteilung zwischen Nutzer und System sowie zur multidisziplinären Gestaltung der Entwicklung. Es werden Hinweise zur Planung und Durchführung des Gestaltungsprozesses gegeben [Sarodnick u. Brau, 2006].

3.5 Usability Evaluierung im Bereich interaktiver Lernsysteme

Um die Benutzbarkeit eines Systems zu testen und eventuelle Probleme bei der Bedienung aufzudecken, sollte in verschiedenen Phasen der Entwicklung eine Evaluierung durchgeführt werden. Eine Evaluierung stellt die Bewertung eines geplanten, sich im Entwicklungsprozess befindlichen oder bereits fertigen Systems dar. Die Bewertung sollte systematisch und möglichst objektiv sein. Mögliche Untersuchungsziele sind die Beantwortung spezifischer Fragen oder die Bestimmung des Grades der Erreichung eines bestimmten Ziels, aus denen Verbesserungsvorschläge abgeleitet werden können. Einen guten Überblick über Arten und Methoden der Usability Evaluation und ihren Einsatz gibt Sarodnick u. Brau [2006]. Niegemann u. a. [2004] beschäftigen sich speziell mit der Qualitätsbeurteilung von e-Learning Angeboten.

Die durch eine Evaluierung aufgedeckten Usability-Probleme sind nicht immer Probleme der Benutzbarkeit, sondern können auch auf mangelnde Fähigkeiten der Nutzer oder durch die

Nutzung des Systems in einem nicht vorgesehenen Nutzungskontext zurückgeführt werden. Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Schwere der Fehler und ihrer Aufdeckung.

Evaluierungen können nach ihrem Durchführungszeitpunkt unterschieden werden (formative und summative Evaluierung). Eine weitere Unterscheidung der Evaluierungen erfolgt über die verwendeten Methoden. *Empirische Methoden* erheben beispielsweise mit Hilfe von Fragebögen oder durch Beobachtungen Informationen der Nutzer. Diese Daten müssen interpretiert und die Probleme nach ihrer Wichtigkeit klassifiziert werden. Im nächsten Schritt müssen mögliche Lösungen zur Behebung der Fehler diskutiert werden. Usability Tests und Befragungen mittels Fragebögen sind Werkzeuge für eine empirische Evaluierunge. Bei *analytischen Methoden* erfolgt die Beurteilung des Systems durch Usability-Experten, die sich während der Bedienung in die Nutzer hineinversetzen. Die Basis der Bewertung stellen Richtlinien dar, deren Einhaltung der Usability-Experte bei seiner Arbeit überprüft. Dabei spielt die Erfahrung der Experten und ihr Wissen über das entsprechende Anwendungsgebiet eine große Rolle. Analytische Methoden eignen sich für einen frühen Einsatz im Entwicklungsprozess, da die Experten auch auf Basis von Konzepten Beurteilungen vornehmen können. Beispiele für analytische Methoden sind die heuristische Evaluierung und der Cognitive Walkthrough.

Niegemann u. a. [2004] beschreiben ein allgemeines Modell für den Ablauf einer Evaluierung. Das Modell besteht aus sechs Schritten:

1. *Definition der zu evaluierenden Maßnahme:* Zusammentragen der Bedürfnisse hinsichtlich einer Evaluierung, Erstellung einer Anforderungsliste und einer Kostenschätzung, Festlegung, wer die Ergebnisse erhalten soll

2. *Ziel der Evaluierung setzen:* Präzisierung des Ziels der Evaluierung (z.B. Verbesserung des Systems, Erhöhung der Effizienz, Beurteilung des Erreichens gesetzter Ziele)

3. *Planung der Evaluierung:* Erstellung eines Arbeitsplans mit den zu evaluierenden Inhalten, benötigten Ressourcen (Zeit- und Kostenschätzung), zu verwendenden Methoden und Instrumenten (benötigte Daten/Informationen, Größe Stichprobe, Auswahl Erhebungsverfahren, Instrumente), Auswertungsstrategien (Was soll in welchem Umfang ausgewertet werden?, Art der statistischen Analysen und Testverfahren) und Angaben zur Berichtlegung (Wann werden wo und wie welche Ergebnisse präsentiert?)

4. *Datenerhebung und Auswertung:* Standardisierte Instruktion und Versuchsablauf, individuelle Klärung von Verständnisproblemen, Protokollierung von Zwischenfragen/Ereignissen, Vortest des Untersuchungsablaufs, Videoprotokoll des Tests, Nachuntersuchung: Berichte der Probanden über ihre Eindrücke, Stimmung, Verhalten des Versuchsleiters

5. *Berichtlegung:* Reine Beschreibung und Ergebnisdarstellung oder nutzungsbezogene Ergebnisse mit Entscheidungshilfen

6. *Bewertung und weitergehende Nutzung:* Ansatzpunkte zur Übertragung der Ergebnisse in die Praxis aufzeigen

Bei formativen Tests von Lernsystemen werden neben den oben genannten allgemeinen Aspekten außerdem das didaktische Konzept und die Darbietung des Lernstoffs, die vorgesehene Integration in das Lernsetting sowie die Lerngeschwindigkeit und vor allem der Lernerfolg evaluiert. Bei der summativen Evaluierung wird häufig die Akzeptanz, der Lernerfolg, die Transferierbarkeit des Gelernten in die Praxis und die Praxisrelevanz des Wissens untersucht. Die Ergebnisse sind interessant für die Anwender, Lernenden, Käufer und Auftraggeber.

Niegemann u. a. [2004] geben weiterhin folgende drei Kriterienkomplexe für eine Evaluierung von e-Learning Angeboten an:

1. *Inhaltliche und didaktische Gestaltung:*
   - Inhaltlich: Kriterien zur Auswahl, Aktualität, Umfang, Tiefe, Schwierigkeitsgrad, Vielfalt, Komplexität des Wissens sowie Situiertheit und Praxisbezug
   - Didaktisch: Kriterien zum Vorwissen, angemessenen Instruktionsstrategien, Hilfen, Rückmeldung, Interaktionsmöglichkeiten mit anderen Lernenden
   - Kriterien zum objektiven und subjektiven Lernerfolg
2. *Usability und softwareergonomische Gestaltung:*
   - Layout: Einsatz von Bild, Text, Animation, Video, farbliche Gestaltung, Ton
   - Nutzerführung: Navigationsstruktur, -möglichkeiten
   - Programmiertechnische Aspekte: Prozeduren, die Programmierfehler aufdecken
   - Nutzerzufriedenheit
3. *Nähe zum Curriculum:* Abstimmung auf bereits bestehende Lernmodule - Kriterien sind Abstimmungsgrad und Integrationsmöglichkeiten

3.5.1 Richtlinienbasierte Evaluierung

Gestaltungsrichtlinien können im Rahmen summativer und formativer Evaluierungen genutzt werden. Dabei handelt es sich um Dokumente, die Prinzipien für eine gebrauchstaugliche Gestaltung eines Systems beinhalten. Der Detailgrad kann von sehr allgemein bis sehr spezifisch variieren. Den Entwicklern dienen sie als Grundlage für das Design und den Kunden und Usability-Experten als Basis für Evaluierungen. Sie können in fünf Kategorien gegliedert werden [Sarodnick u. Brau, 2006]:

1. *Gestaltungsregeln:* Lose Sammlung detaillierter Gestaltungsanweisungen.
2. *Ergonomische Algorithmen:* Systematische Prozedur von Anforderungen, die vorgibt, wie die Gestaltung unter bestimmten Bedingungen vorzunehmen ist (z.B. Zitierweise in wissenschaftlichen Veröffentlichungen).

3. *Styleguides:* Konkrete Richtlinien und/oder Spezifikation zur Vereinheitlichung von Systemen.
4. *Standards:* Entsprechen den Anforderungen von Normen (z.B. ISONorm 9241/110).
5. *Richtlinien-Sammlungen:* Inhaltlich gegliederte Gestaltungsanforderungen, die für viele Benutzungsschnittstellen eingesetzt werden können und teilweise durch Beispiele illustriert werden.

Es gibt zwei Formen von Richtlinien: analytisch und empirisch entwickelte. Analytische Richtlinien spiegeln die Übereinstimmung von Gestaltungsexperten zu allgemeinen Gestaltungsprinzipien wieder. Empirische Richtlinien gehen aus spezifischen Experimenten der Grundlagenforschung, aus denen Gestaltungsrichtlinien abgeleitet werden, hervor.

Sarodnick u. Brau [2006] schlagen folgende Vorgehensweise bei der Evaluierung auf Basis von Richtlinien vor:

1. Die Evaluatoren machen sich mit den Inhalten der Richtlinien vertraut, Fragen können diskutiert werden.
2. Das System wird mit seinen Inhalten und Funktionen präsentiert.
3. Da Evaluatoren die Probleme häufig iterativ und unstrukturiert identifizieren, wird folgendes Vorgehen empfohlen: Zunächst erfolgt ein exploratives Vorgehen. Die Richtlinien werden als allgemeine Prinzipien der Usability gesehen. Überlegungen werden durch lautes Denken transparent. Anschließend werden auf der Grundlage der Vorüberlegungen die Richtlinien systematisch durchgearbeitet, um weitere Probleme zu identifizieren.

Richtlinien werden häufig zur Evaluierung genutzt. Allerdings kann diese Methode nicht allein die Gebrauchstauglichkeit eines Systems bewerten, denn der Kontext der Nutzung und die Anwender spielen ebenfalls eine entscheidende Rolle.

3.5.2 Formale Evaluierung

Aufgabenanalytische Verfahren der formalen Evaluierung betrachten das System aus Sicht der zu erfüllenden Aufgaben. Die Aufgaben werden bis hin zu elementaren Handlungen zerlegt und mit Hilfe einer Modellsprache beschrieben. Das *GOMS-Modell* beschreibt Aufgaben beispielsweise mit Hilfe von vier Komponenten: Ziele, Operationen, Handlungsschemata und Selektionsregeln [Card u. a., 1983]. Ziele sind dabei die Zustände, die der Benutzer durch seine Interaktion erreichen möchte. Operationen sind die Techniken der Interaktion, die ihm zur Verfügung stehen. Handlungsschemata beschreiben die Folge von Operatoren, die der Benutzer anwenden muss, um sein Ziel zu erreichen. Selektionsregeln werden angewandt, wenn mehrere Methoden existieren, um ein Ziel zu erreichen.

Das Modell gibt Zeiten für bestimmte physische und kognitive Prozesse vor. Durch die Zusammensetzung der Aufgabe aus den elementaren Handlungen (Keystroke Level Analysis)

mit dem jeweiligen Zeitaufwand kann der Zeitbedarf für die gesamte Aufgabe bestimmt werden. Das GOMS-Modell kann nur für Aufgaben, zu deren zugrundeliegenden kognitiven Prozessen es Untersuchungen und Erfahrungswerte gibt, sichere Aussagen machen. Es werden außerdem wichtige Aspekte der Mensch-Computer-Interaktion, die einen großen Einfluss auf die Ausführung der Aufgabe haben, vernachlässigt. Beispielsweise werden die Ermüdung der Benutzer und die Nutzerakzeptanz bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Soll das System aus softwareergonomischer Sicht im Rahmen einer formalen Evaluierung bewertet werden, können *leitfadenorientierte Prüfverfahren* (z.B. der Leitfaden EVADIS [Oppermann u. a., 1991]) eingesetzt werden. Für diese Art der Evaluierung sind kaum methodische Kenntnisse erforderlich. Sie ist vergleichsweise schnell durchführbar und kann bereits in der Entwurfsphase eingesetzt werden. Die Prüflisten enthalten Fragen und Aussagen zur Gestaltung der Benutzeroberfläche. Sie sind damit den Richtlinien sehr ähnlich. Allerdings sind sie in eine Verfahrensvorschrift integriert, die die Evaluierung konkretisiert.

Ein Problem stellt die formale Evaluierung von Systemen mit hoher Komplexität dar. Wichtige Aufgaben werden möglicherweise nicht vollständig oder gar nicht betrachtet. Ebenfalls problematisch, da schwer überschaubar, kann die Beschreibung komplexer Aufgaben mit Hilfe einer Modellsprache werden [Sarodnick u. Brau, 2006].

3.5.3 Inspektionsmethoden

Mögliche Usabilityprobleme werden bei den Inspektionsmethoden durch Usability Experten vorausgesagt. Sie werden hauptsächlich im Rahmen einer formativen Evaluierung eingesetzt. Die Evaluatoren, dazu zählen Experten, aber auch zukünftige Nutzer, bekommen einen Gestaltungsvorschlag des Systems präsentiert und sollen ihn anhand definierter Kriterien bewerten. Dabei handelt es sich in den meisten Fällen um schriftliche Beschreibungen der Funktionalität und Bedienelemente sowie um Designvorschläge in Bildform. Die Evaluierung kann anhand unterschiedlicher methodischer Ansätze erfolgen. Es werden zwei Typen von Inspektionsmethoden unterschieden.

Design-Prinzipien beschreiben die idealen Eigenschaften eines Systems. Dabei handelt es sich um heuristische Gestaltungshinweise. Usability Experten versuchen Verstöße gegen die Heuristiken, und damit potentielle Probleme, zu identifizieren. Design-Prinzipien sind breiter gefasst und damit allgemeiner und unspezifischer als beispielsweise Richtlinien. Dieser Inspektionstyp verfolgt einen Bottom-Up Ansatz, da die Identifikation von Problemen in der Detailebene zu Verbesserungen des Gesamtsystems führt.

Beim zweiten Typ handelt es sich um die *Design-Aufgabenanalyse*. Die Tester durchlaufen die Bearbeitungsschritte, die für eine bestimmte Aufgabe notwendig sind. Ihr Augenmerk liegt hierbei auf der Identifikation von kritischen Interaktionen. Damit handelt es sich hier um einen Top-Down Ansatz, weil ausgehend von einer Aufgabe die notwendigen Teilaufgaben und Handlungsschritte betrachtet werden [Sarodnick u. Brau, 2006].

3.5.4 Usability Tests

Usability Tests sind eine empirische Methode zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit eines Systems. Die Nutzer testen das System anhand realer, genau definierter Aufgaben. Sie werden dabei durch Usability Experten beobachtet und die Interaktionen mit dem System werden protokolliert. Anschließend werden sie zu bestimmten beobachteten Aspekten, z.B. Schwierigkeiten oder besondere Vorgehensweisen und ihren Vorerfahrungen befragt. Es erfolgt eine subjektive Bewertung des Systems durch die Nutzer. Auf der Basis der Beobachtungen und Äußerungen der Nutzer während des Tests (lautes Denken), anschließenden Interviews sowie ggf. Messungen (z.B. Zeit- und Fehlerdaten) werden Probleme bei der Bedienung identifiziert und Verbesserungsvorschläge erarbeitet.

Usablility Tests können in *induktive und deduktive Tests* unterteilt werden. Induktive Tests werden im Rahmen einer formativen Evaluierung durchgeführt und dienen zur Bewertung eines Prototyps, zur Identifikation möglicher Schwachstellen und zur Entwicklung von Verbesserungsmöglichkeiten. Sie können im Arbeitsumfeld der Nutzer durchgeführt werden, um reale Bedingungen zu schaffen. Das System muss für die Bearbeitung einer typischen Testaufgabe alle notwendigen Funktionalitäten und ein realitätsgerechtes Systemverhalten beinhalten.

Deduktive Tests werden für summative Evaluierungen eingesetzt. Es können mehrere Alternativen des Systems miteinander verglichen, ein System in seiner Leistungsfähigkeit beurteilt oder die Verbesserungen bei der Entwicklung kontrolliert werden. Es lassen sich auch Gestaltungs- und Verbesserungsvorschläge ableiten. Die Durchführung deduktiver Tests sollte im Labor erfolgen, um standardisierte Testbedingungen und damit die Vergleichbarkeit sicherzustellen. Ein Usability Labor besteht aus einem Testraum und einem Kontrollraum, die durch einen Einwegspiegel voneinander getrennt sind. Die Nutzer befinden sich im Testraum, während mehrere Kameras und Mikrophone ihre Handlungen und Äußerungen aufzeichnen. Dabei sind besonders ihr Gesicht, ihre Hände und ihre Arme von Bedeutung. Außerdem werden die Bildschirminhalte aufgenommen. In manchen Fällen werden sogar die Augenbewegungen durch einen Eyetracker protokolliert [Sarodnick u. Brau, 2006].

3.5.5 Fragebogenbasierte Evaluierung

Für die Erhebung quantitativer Aussagen in formativen und summativen Evaluierungen werden häufig Fragebögen eingesetzt. Sie bestehen aus mehreren Fragen bzw. Aussagen (*Items*), die in verschiedene Unterthemen (*Subskalen*) gegliedert sind und dienen zur subjektiven Beurteilung von Teilaspekten des Systems oder dem Gesamtsystem. Die Voraussetzung dafür ist, dass sich die Testpersonen ausführlich, z.B. im Rahmen eines Usability Tests, mit dem System beschäftigt haben. Die Bewertungen sind in jedem Fall von den bewussten oder unbewussten Vergleichen mit ähnlichen bekannten Systemen abhängig und damit von den subjektiven Erfahrungen der Tester geprägt. Um dennoch aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sollte daher die Stichprobe ausreichend groß sein. Die Antworten werden als vordefinierte Antwortoptionen, abgestufte bipolare Einschätzung oder als Freitext gegeben.

Vorteile fragebogenbasierter Evaluierung	**Nachteile fragebogenbasierter Evaluierung**
Hohe Objektivität	Hohe Strukturiertheit führt zu wenig Freiraum
Klare Trennung von Evaluierungsaspekten	Eingeschränkte Bewertungsfreiheit durch definierte Fragen
Kategorisierung und statistische Analyse subjektiver Daten	Qualität des Erhebungsinstrumentes beeinflusst Qualität der Daten
Beliebiger Einsatz im Entwicklungsprozess ohne Aufwand	Aufwendige Entwicklung bei Beachtung der Gütekriterien
Vielzahl bereits standardisierter Fragebögen	
Große Stichprobe durch Onlineerhebung	

Tabelle 3.1: *Vor- und Nachteile einer fragebogenbasierten Evaluierung (modifiziert nach [Sarodnick u. Brau, 2006])*

Die Erstellung eigener Fragebögen ist nicht trivial. Es müssen die zu messenden Aspekte fundiert definiert werden, die Items müssen ausgewählt und formuliert werden. Anschließend muss der Fragebogen anhand einer großen Stichprobe standardisiert und geeicht werden. Um zu garantieren, dass der Fragebogen zu zuverlässigen Daten führt, muss die Objektivität, Reliabilität und Validität der Ergebnisse sichergestellt werden.

In den meisten Fällen ist es deshalb sinnvoller, einen der veröffentlichten standardisierten Fragebögen zu nutzen. Es existieren allgemeine Fragebögen für technische Systeme sowie für spezielle Anwendungsbereiche. Da sie sehr breit einsetzbar sind, passen möglicherweise nicht immer alle Items zu einer Evaluierung. Eine Löschung einzelner Items hat einen Einfluss auf die Aussagekraft der anderen Items und führt möglicherweise zu nicht mehr validen oder reliablen Ergebnisse. Die Löschung ganzer Subskalen hat dagegen keinen Einfluss auf die erhobenen Daten. Die Fragebögen eignen sich sowohl für eine formative als auch eine summative Evaluierung [Sarodnick u. Brau, 2006].

Tabelle 3.1 fasst die Vor- und Nachteile einer fragebogenbasierten Evaluierung zusammen.

Im Folgenden werden einige etablierte Fragebögen, die im Rahmen dieser Arbeit interessant sind, kurz vorgestellt.

Der von Shneiderman entwickelte Fragebogen *QUIS (Questionnaire for User Interface Satisfaction)* dient der Erhebung der subjektiven Zufriedenheit der Nutzer mit der Schnittstelle eines Systems. Die aktuelle Version ist Quis 7.0 (http://lap.umd.edu/quis). Sie enthält einen

demographischen Fragebogen, eine Bewertung der allgemeinen Nutzerzufriedenheit auf sechs Skalen sowie einen Fragebogen mit hierarchisch angeordneten Maßen für neun spezielle Komponenten der Schnittstelle: z.B. Layoutfaktoren, Terminologie und Systemfeedback, Bedienungsanleitung, Multimedia, Softwareinstallation. Die Bewertung erfolgt jeweils anhand einer neunstufigen Skala. Der Fragebogen ist so konzipiert, dass die einzelnen Subskalen unabhängig voneinander sind und er individuell angepasst werden kann. Er ist nicht kostenfrei nutzbar.

Die in der *ISONorm 9241/110* enthaltenen sieben Dialoggrundsätze für die Gestaltung interaktiver Systeme (siehe 3.4) werden in verschiedenen Fragebögen zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit und Benutzerfreundlichkeit eines Systems herangezogen:

- Der *ISONorm 9241/10* Fragebogen beinhaltet insgesamt 35 Fragen zu den sieben Dialoggrundsätzen. Die verschiedenen Aspekte des Systems sollen anhand einer siebenstufigen Skala bewertet werden. Die Bearbeitungszeit wird mit 10-20 Minuten angegeben.
- Der *ISONorm 9241/110-S* Fragebogen ist eine Fragebogenversion zur überarbeiteten Fassung der ISONorm 9241/10. Er beinhaltet insgesamt 21 Fragen zu den sieben Dialoggrundsätzen, ebenfalls mit siebenstufigen Skalen. Die Bearbeitungszeit wird mit 5-10 Minuten angegeben.
- Der *ISOMetrics S* Fragebogen (kurze Version) beinhaltet 75 Fragen zu den sieben Dialoggrundsätzen mit Bewertungsmöglichkeiten auf numerischer Basis. Die lange Version enthält zusätzlich Fragen zur subjektiven Wichtigkeit der zu bewertenden Aspekte und gibt den Testern die Möglichkeit, Beispiele zu nennen. Die Bearbeitungszeit der kurzen Version wird mit 30-60 Minuten angegeben, die der langen Version mit ca. zwei Stunden.

Einige Autoren, z.B. Hassenzahl u. a. [2003], weisen darauf hin, dass die isolierte Betrachtung der Gebrauchstauglichkeit (pragmatische Qualität) nicht ausreichend ist, um die Qualität eines Produktes zu bewerten. Weitere zu berücksichtigende Aspekte sind Stimulation und Identität (hedonische Qualität). Die pragmatische und hedonische Qualität eines Produktes/Systems kann mit Hilfe von *AttrakDiff* (www.attrakdiff.de) bewertet werden. Der Fragebogen besteht aus 28 bipolaren Items (z.B. symphatisch - unsymphatisch, einfach - kompliziert) und liefert Informationen über die subjektive Qualität der Plattform - wie interessant, innovativ, anregend die Benutzer die Plattform im Hinblick auf die Bedienbarkeit und das Aussehen einschätzen.

3.6 Zusammenfassung und Diskussion

Für die Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme gelten die Grundlagen der Entwicklung interaktiver Systeme. Auch wenn der Entwicklungsprozess nicht streng linear ist, sollte er in vier Phasen strukturiert werden: Analyse, Spezifikation und Design, Umsetzung und Evaluierung. Die *Analysephase* stellt einen wichtigen Abschnitt dar, der häufig vernachlässigt wird. In dieser Phase der Entwicklung werden wichtige Grundlagen für den Nutzen und die Akzeptanz

des Systems geschaffen. Neben der Nutzeranalyse müssen die Lernziele eines Trainingssystems definiert und strukturiert werden. Das sich an die Analysephase anschließende *Requirements Engineering* ermittelt, dokumentiert und priorisiert die aus der Analyse abgeleiteten Anforderungen an das System.

Eine große Rolle spielt in dieser Arbeit das *szenariobasierte Design* bei der Entwicklung von Trainingssystemen. Dieses Vorgehen ermöglicht ein auf die Aktivitäten, Fähigkeiten und Bedürfnisse der zukünftigen Nutzer ausgerichtetes Design des Systems. Weiterhin bieten sie eine gute Basis für spätere formative Evaluierungen und Designbegutachtungen. Es kann zwischen Soll- und Ist-Szenarien unterschieden werden. Benyon u.a. unterscheiden außerdem vier verschiedene Szenario-Typen, die in unterschiedlichen Stadien im Designprozess eingesetzt werden: User Stories, Conceptual Scenarios, Concrete Scenarios und Use Cases. Auf die szenariobasierte Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme wird in Kapitel 5 ausführlich eingegangen.

Es existieren viele etablierte *Richtlinien und Standards* für die Entwicklung interaktiver Systeme. Dabei handelt es sich neben den „Eight Golden Rules for Dialog Design“ von Shneiderman um DIN-Normen, deren Umsetzung eine gute Benutzbarkeit interaktiver Systeme gewährleistet.

Um die Benutzbarkeit eines Systems zu testen und eventuelle Probleme bei der Bedienung aufzudecken, sollten in verschiedenen Phasen der Entwicklung Evaluierungen eingesetzt werden. *Evaluierungen* können nach ihrem Durchführungszeitpunkt in formative und summative Evaluierungen unterschieden werden. Sie können auf Basis von Richtlinien, aufgabenanalytischer und leitfadenorientierter Verfahren, Inspektionsmethoden, Usability Tests oder Fragebögen durchgeführt werden. Usability Tests und Fragebögen eignen sich besonders, um die Gebrauchstauglichkeit, die Akzeptanz sowie die Fähigkeit des Systems, den Lernenden die gewünschten Inhalte zu vermitteln, zu erheben. Ein Konzept für die Evaluierung chirurgischer Trainingssysteme wird in Abschnitt 8.5 vorgestellt.

4 Aus- und Weiterbildung in der Medizin

Dieses Kapitel beschreibt die medizinische Aus-, Weiter- und Fortbildung. Dabei wird auf die Besonderheiten des chirurgischen Gebiets eingegangen. Zusätzlich wird die Aus- und Weiterbildung anderer Länder am Beispiel der Schweiz und der USA untersucht. Das problemorientierte Lernen wird in der klassischen Ausbildung verstärkt eingesetzt, weil es einen stärkeren Bezug zur Praxis ermöglicht. Die Vorgehensweise in der Medizin und die verschiedenen Einsatzgebiete dieses Lernkonzepts werden beschrieben. Die Verbreitung der Arten interaktiver Lernsysteme, die in Abschnitt 2.3.3 erläutert wurden, wird für den medizinischen Bereich beschrieben. Es werden Beispiele aufgeführt, die hinsichtlich ihrer Funktionalität analysiert werden. Abschließend wird beispielhaft auf ausgewählte Richtlinien des medizinischen Bereichs eingegangen.

4.1 Klassische Aus- und Weiterbildung

Während der chirurgischen Aus-, Weiter- und Fortbildung erfolgt die Lehre theoretischer Inhalte und praktischer Fertigkeiten. Für die Vermittlung von theoretischem Wissen stehen beispielsweise Vorlesungen, Seminare, Bücher und Zeitschriften zur Verfügung. Das Training praktischer Fertigkeiten erfolgt im Rahmen von Unterweisungen durch erfahrene Chirurgen sowie im Rahmen spezieller Kurse. Das traditionelle chirurgische Lernen entspricht dem Meister-Lehrlings-Prinzip.

4.1.1 Ausbildung

Das klassische Medizinstudium ist grob in zwei Teile gegliedert. In den ersten vier Semestern, der Vorklinik, wird medizinisches Grundlagenwissen in den Gebieten Chemie, Biologie, Physik, Biochemie, Anatomie und Physiologie gelehrt. Die Vorklinik wird mit dem Physikum in Form von schriftlichen und mündlichen Prüfungen abgeschlossen. Es schließt sich die Famulatur an. In dieser Zeit bekommen die Studenten einen ersten Einblick in die ärztliche Praxis. Im zweiten Teil des Studiums, dem klinischen Abschnitt mit acht Semestern, müssen eine Reihe von Kursen, Seminaren und Praktika zu klinischen Grundlagen sowie klinischen und chirurgischen Fächern absolviert werden. Der letzte Ausbildungsabschnitt ist das „Praktische

Jahr“, das die Studenten auf die selbstständige ärztliche Tätigkeit vorbereiten soll. Im zweiten Abschnitt der ärztlichen Prüfung sind umfassende mündliche und schriftliche Prüfungen vorgesehen, um die ärztliche Approbation zu erhalten. Um den akademischen Titel *Dr. med.* verliehen zu bekommen, muss zusätzlich eine Doktorarbeit geschrieben werden. Sie ist aber keine Voraussetzung zur Ausübung der ärztlichen Tätigkeit oder für die Weiterbildung.

Die Wissensvermittlung während des Medizinstudiums erfolgt hauptsächlich durch Vorlesungen, Seminare und Praktika sowie eigenverantwortlich durch Bücher und zunehmend auch durch Lernsoftware und Onlinekurse.

Einige Probleme des konventionellen praktischen Unterrichts werden von Holmer u. Lehmann [2010] auf der e-Learning Projektseite der Chirurgischen Klinik I des Campus Benjamin Franklin der Charité Berlin sehr gut zusammengefasst:

- Der klinische Unterricht wird zunehmend durch die sehr kurzen Liegezeiten der Patienten erschwert. Laut Statistischem Bundesamt ist die Verweildauer in Krankenhäusern von vierzehn Tagen 1991 auf acht Tage 2009 gesunken. Operationen werden häufig am Aufnahmetag durchgeführt, so dass nur wenige Patienten mit präoperativen Befunden für den praktischen Anschauungsunterricht zur Verfügung stehen. Speziell im chirurgischen Bereich sind die Lerninhalte mit Hilfe des konventionellen Unterrichts nur schwer vermittelbar.

- Typische Untersuchungsbefunde können in den meisten Fällen am Patienten aus den genannten Gründen nicht präsentiert werden. Die Demonstration intraoperativer Befunde direkt im Operationssaal gestaltet sich aufgrund der großen Anzahl an Studenten ebenfalls schwierig.

Mit der im Oktober 2003 in Kraft getretenen ärztlichen Approbationsordnung werden neue Anforderungen an die medizinische Lehre gestellt, die durch den Frontalunterricht nicht erfüllt werden können. Es wurde immer wieder die mangelnde Praxisnähe kritisiert. Deshalb wird nun in der Lehre vermehrt in kleinen Gruppen unterrichtet. Es wird verstärkt das *Bedside-Teaching* und das *problemorientierte Lernen* (siehe Abschnitt 4.2) eingeführt. Das *Bedside-Teaching* wurde aus Amerika übernommen, wo es schon seit langer Zeit eingesetzt wird, um den Studenten früh direkten Patientenkontakt zu ermöglichen. In kleinen Gruppen findet die Lehre auch am Patienten statt und die Studenten werden in den klinischen Alltag eingebunden. Sie können beispielsweise an Besprechungen teilnehmen. Die dabei behandelten Krankheitsbilder, Indikationen und Patientenverläufe werden in den folgenden Seminaren diskutiert [Lüring u. Grifka, 2006].

4.1.2 Weiter- und Fortbildung

Die Weiterbildung zum Facharzt erfolgt in der Ausübung der ärztlichen Tätigkeit über einen festgelegten Zeitraum in dem jeweiligen oder einem verwandten Fach (in den meisten Fachgebieten 5-6 Jahre). Die Weiterbildung wird mit einer Facharztprüfung abgeschlossen. Die

Fortbildungsart	Fortbildungsmaßnahmen/ -angebote
Selbststudium	Zeitschriften und Fachbücher, audiovisuelle Medien, Onlineangebote (mit und ohne Lernerfolgskontrolle)
Fortbildungsveranstaltungen (max. 20 Teilnehmer)	Vorträge und Diskussionen, Kongresse, Kurse, Seminare, Kleingruppenarbeit
Wissenschaftliche Publikationen	Konferenzen, Fachzeitschriften
Referententätigkeit	
Hospitationen	Anderen Kliniken, Praxen, Instituten oder Abteilungen
Weiterbildungskurse, curriculare Fortbildung, Postgraduiertenstudiengänge	Vorgeschriebene Kurse in der Weiterbildungsordnung

Tabelle 4.1: *Fortbildungsarten und -angebote für Ärzte*

Weiterbildungsordnungen der Landesärztekammern regeln die Inhalte und Zeiten der ärztlichen Weiterbildung. Das Training praktischer Fertigkeiten erfolgt im Rahmen von Unterweisungen durch erfahrene Ärzte. In der Chirurgie lernen die Assistenzärzte zunächst durch das Beobachten eines erfahrenen Chirurgen. Sie assistieren zunächst und halten beispielsweise Instrumente. Sie führen nach und nach auch selbstständig die Eingriffe unter Anleitung des Experten durch, der ggfs. korrigierend eingreift. Diese Art der Ausbildung ist allerdings sehr stark von den zur Verfügung stehenden Experten, ihrer chirurgischen „Schule“ sowie vom aktuellen Fallaufkommen abhängig. Die theoretische Vertiefung des Wissens erfolgt freiwillig über Lernangebote und Primärliteratur (z.B.: Fachzeitschriften).

Jeder Arzt ist gesetzlich zur Fortbildung verpflichtet. Im Rahmen der *kontinuierlichen berufsbegleitenden Fortbildung (CME)* müssen Ärzte innerhalb von fünf Jahren 250 Fortbildungspunkte erwerben. Diese Fortbildungspunkte können sie auf verschiedenen Wegen erlangen. Die Ärztekammern legen die Rahmenbedingungen und Qualitätskriterien für die Fortbildungsangebote fest, führen im Vorfeld eine Zertifizierung der einzelnen Maßnahmen durch und bestimmen die Anzahl der CME-Punkte für die Teilnahme. Die Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die Arten der Fortbildung und die jeweiligen Fortbildungsmaßnahmen [Bundesärztekammer, 2007]. Weiterbildungsangebote, die nicht zertifiziert sind, werden kaum genutzt.

4.1.3 Besonderheiten der Chirurgie

Die Chirurgie und andere operative Fächer (z.B. Urologie, Gynäkologie, Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde) befassen sich mit Eingriffen am Körper der Patienten. Eine Operation wird in der Regel unter Narkose (Anästhesie) durchgeführt. Nach der Anästhesierung des Patienten wird der Zugang zum Operationsgebiet geschaffen, wo der geplante Eingriff durchgeführt wird. Abschließend wird der Zugang wieder verschlossen. Um die Belastung für den Patienten zu minimieren, werden in einigen Bereichen (z.B. Gallenblasenentfernung, Leistenbruchversorgung) immer häufiger minimalinvasive Operationstechniken eingesetzt. Der Zugang erfolgt bei dieser Operationstechnik durch sehr kleine Schnitte, durch die ein Endoskop und alle Instrumente eingeführt werden. Der Arzt operiert mit Hilfe eines Monitors, auf den die Bilder, die das Endoskop im Inneren des Körpers aufnimmt, übertragen werden.

In der Chirurgie werden acht Spezialisierungen unterschieden [Berufsverband Deutscher Chirurgen e.V., 2010]:

- *Allgemeine Chirurgie* (breites Spektrum, operative und nicht-operative Grund- und Notfallversorgung)
- *Gefäßchirurgie* (operative Behandlung der Blutgefäße, z.B. bei Fehlbildungen oder Arterienverkalkung)
- *Unfallchirurgie/Orthopädie* (z.B. Versorgung von Verletzungen des Bewegungsapparates, endoprothetische Versorgung des Skelettsystems)
- *Thoraxchirurgie* (z.B. Versorgung von Verletzungen der Lunge, Tumoroperationen im Bereich des Thorax)
- *Viszeralchirurgie* (operative Eingriffe an den inneren Organen, z.B. Tumoroperationen an der Leber)
- *Plastische Chirurgie und ästhetische Chirurgie* (z.B. Wiederherstellung von erworbenen oder angeborenen Defekten, Versorgung von Brandverletzungen)
- *Kinderchirurgie* (breites Spektrum, allgemeine-, viszeral-, thorax- und plastische Chirurgie für Kinder)
- *Herzchirurgie* (z.B. Einsetzen künstlicher Herzklappen oder eines Bypasses, Transplantation)

Nach Abschluss des Medizinstudiums wird im Rahmen der Weiterbildung das chirurgische Handwerk erlernt. Die Weiterbildung dauert in der Regel sechs Jahre und wird mit einer mündlichen Facharztprüfung vor der zuständigen Landesärztekammer abgeschlossen. Sie ist in drei Abschnitte untergliedert [Berufsverband Deutscher Chirurgen e.V., 2010]:

- *2 Jahre Common Trunk:* basischirurgische Weiterbildung, hauptsächlich Patientenmanagement (chirurgische Station, Ambulanz, Intensivstation), noch kein chirurgisches Handwerk

- *1 Jahr Special Trunk:* in einer der angestrebten Spezialisierung assoziierten Disziplin, z.B. Gastroenterologie (Magen-Darm-Trakt) bei Viszeralchirurgie
- *3 Jahre Special Trunk:* fachspezifische Weiterbildung in einer Spezialisierungsrichtung

Der Berufsverband der Deutschen Chirurgen liefert den Mitgliedern auf seiner Webseite (www.bdc.de) wichtige Informationen, die im Berufsalltag hilfreich sind, z.B. Artikel zum Hygienemanagement, zu Arbeitsbedingungen, Versicherungen, ambulantem Operieren, Umfragen, Termine chirurgischer Seminare und Kongresse, einen Stellenmarkt sowie eine Plattform mit Fortbildungsangeboten. Dort werden derzeit ca. 500 e-Learning Kurse aus allen chirurgischen Disziplinen zur Verfügung gestellt. Es handelt sich zum Beispiel um Kurse in Lehrbuchform, Vorträge oder Videokurse, die teilweise CME-zertifiziert sind.

Chirurgen unterscheiden sich stark von anderen Ärzten. Ihr Alltag ist weniger planbar und sie arbeiten stärker im Team als Ärzte anderer Disziplinen. Sie müssen, wie alle Krankenhausärzte, in Notfällen jederzeit verfügbar sein. Im Operationssaal besitzen sie die Führungsrolle und damit auch die Verantwortung für die beteiligten Kollegen (z.B. Anästhesisten, OP-Schwestern, Assistenten) und selbstverständlich für den Patienten. Für die sehr körperlich orientierte Arbeitsweise sind eine stabile mentale und physische Gesundheit, eine ausgeprägte manuelle Geschicklichkeit und eine sehr gute Hand-Auge-Koordination Grundvoraussetzungen. Für orthopädische Eingriffe wird teilweise viel Kraft benötigt und nicht selten dauert eine Operation mehrere Stunden, die der Chirurg stehend am Operationstisch zubringt. Chirurgen müssen in der Lage sein, auch in kritischen Situationen schnell Entscheidungen zu treffen und den Überblick zu behalten. Die mentalen und sozialen Fähigkeiten, die dafür benötigt werden, sind vergleichbar mit denen von Piloten.

4.1.4 Ärztliche Aus- und Weiterbildung anderer Länder

Beispielhaft für die ärztliche Aus- und Weiterbildung in anderen Ländern wird in diesem Abschnitt kurz auf den Ablauf des Medizinstudiums und der anschließenden Weiter- und Fortbildung in der Schweiz und in den USA eingegangen.

Die universitäre Ausbildung der Humanmedizin in der *Schweiz* dauert ebenfalls sechs Jahre und wird mit dem eidgenössischen Arztdiplom abgeschlossen. Das Studium kann an fünf Universitäten der Schweiz durchgeführt werden. Auch in der Schweiz gibt es Reformstudiengänge, die den Studierenden ein praxisorientiertes Studium ermöglichen [Bern, 2010].

Anders als in Deutschland ist die sich anschließende Weiterbildung obligatorisch und wird in Praxen und Spitälern durchgeführt. Die Assistenzärzte dürfen nur unter Aufsicht arbeiten. Die Weiterbildung wird mit dem Facharztexamen abgeschlossen und erst dann dürfen die Ärzte selbstständig ihren Beruf ausüben. Während der Assistenzarztzeit muss allerdings noch das Basisexamen der Chirurgie abgelegt werden, welches als Voraussetzung für die Erlangung des Facharzttitels angesehen wird. Nach der mündlichen Facharztprüfung kann eine Spezialisierung in einem Schwerpunktgebiet erfolgen. Im Bereich der Chirurgie werden vier

Schwerpunkte unterschieden [Schweizerisches Institut für ärztliche Weiter- und Fortbildung, 2006]:

- Allgemein- und Unfallchirurgie
- Gefäßchirurgie
- Thoraxchirurgie
- Viszeralchirurgie

Für die Fachärzte gibt es, wie in Deutschland, seit 2007 eine vorgeschriebene berufsbegleitende Fortbildungspflicht, die von den medizinischen Fachgesellschaften überprüft wird. Jedes Jahr sind 50 Stunden nachweisbare strukturierte Fortbildung (öffentliche oder klinikinterne Fortbildungsveranstaltungen) und 30 Stunden Selbststudium vorgeschrieben [Schweizerische Gesellschaft für Chirurgie, 2000].

Das Medizinstudium in den *USA* unterscheidet sich deutlich vom Studium in Deutschland und der Schweiz. Vor dem Studium an einer medizinischen Fakultät ist ein mehrjähriges Vorbereitungsstudium (pre-med) an einem College oder einer Universität notwendig. In dieser Zeit bekommen die Studenten Grundlagen der Chemie, Biologie, Mathematik und Physik vermittelt. Dieses vorbereitende Studium und ein Zugangstest (Medical College Admission Test - MCAT) müssen erfolgreich absolviert werden, um an einer medizinischen Fakultät für das Studium zugelassen zu werden.

Das Medizinstudium dauert vier Jahre und ist in einen vorklinischen Teil und einen klinischen Teil aufgeteilt und wird mit dem Titel *Doctor of Medicine (M.D.)* abgeschlossen. Die medizinische Ausbildung amerikanischer Studenten ist sehr praxisorientiert. Hier wird seit vielen Jahren das bereits erwähnte Bedside-Teaching praktiziert, um den Studenten sehr früh eigene klinische Erfahrungen zu vermitteln. Im Anschluss erfolgt, wie in den anderen Ländern auch, die Weiterbildung zum Facharzt (Residency). Erst danach darf eigenständig praktiziert werden. Die Dauer ist vom Fachgebiet abhängig.

Die Weiterbildung zum Facharzt für Chirurgie wird automatisch mit der Qualifikation als Allgemeinchirurg abgeschlossen. Es gibt keine Facharztprüfung wie in Deutschland. Danach kann eine Spezialisierung erfolgen (Fellowship). Im Bereich der Chirurgie hat das *American College of Surgeons* (www.facs.org) in den USA eine ähnliche Stellung wie in Deutschland die *Deutsche Gesellschaft für Chirurgie*. Mit der fakultativen *Board-Certification*-Prüfung, die alle 10 Jahre wiederholt werden muss, wird dem Chirurgen mit einem Zertifikat bescheinigt, dass er die Anforderungen des *American College of Surgeons* erfüllt. Die Mehrheit der amerikanischen Chirurgen unterwirft sich diesem Prozess, was zu einer hohen Standardisierung des chirurgischen Wissens führt [Stelzner, 1997].

4.2 Problemorientiertes Lernen in der Medizin

Die Studierenden der Medizin sollen im Rahmen des problemorientierten Lernens durch das eigenständige Erstellen von Diagnosen und das Treffen von Therapieentscheidungen an medizinischen Fällen, Wissen und Fertigkeiten erwerben. Dafür stehen ihnen die Patienten zur Verfügung. Die Übungen können aber auch anhand textuell präsentierter Fälle oder computerbasierter Fallpräsentationen erfolgen. Diese Art der Wissensvermittlung bietet folgende inhaltliche und methodische Vorteile gegenüber der klassischen Medizinerausbildung:

1. Vermittlung von fächerübergreifendem Wissen, statt isoliertem Faktenwissen.
2. Vermittlung von im klinischen Alltag anwendbarem Wissen.
3. Vermittlung von Problemlösestrategien.
4. Förderung von Fähigkeiten und Motivation zu lebenslangem Lernen.

Für die Gestaltung des problemorientierten Lernens in der Medizin wurden problemorientierte Lehrpläne entwickelt, die das Lernen an realen Fällen oder Fallsimulatoren vorsehen. Es werden aber auch problemorientierte Lehrmedien gestaltet.

Studien belegen eine hohe Akzeptanz und hohe Lernmotivation der Studierenden in *problemorientierten Curricula*. Ein problemorientierter Studiengang wurde in der Medizin 1969 zuerst an der MC Master Medical School in Kanada eingeführt. In Deutschland wurde ein Modellstudiengang 1992 an der Privatuniversität Witten/Heidecke und erst sieben Jahre später ein Reformstudiengang an der Charité Berlin angeboten [Wieking, 2005].

In problemorientierten Kursen schneiden die Studierenden tendenziell in den Examina der Grundlagenfächer schlechter ab als bei der klassischen Grundlagenvermittlung. In den klinischen Fächern zeigt sich dagegen eine geringe Verbesserung der Leistungen. Allerdings bestätigt sich die verbesserte Fähigkeit, anhand gegebener Probleme selbstständig Lernziele zu formulieren und geeignete Materialien für deren Lösung zu sammeln. Auch der Lernstil verändert sich vom Auswendiglernen hin zum Verstehen der Lerninhalte. Die klinische Kompetenz der Absolventen problemorientierter Studiengänge wird höher eingeschätzt. Es existieren einige Einwände gegen diese Studien. Es wird bemängelt, dass für den Lernerfolg entscheidende Variablen nicht einbezogen wurden. Aus diesem Grund sind weitere Untersuchungen notwendig [Gräsel, 1997].

Da nicht alle Lerninhalte für alle Studenten an realen Patienten vermittelt werden können und auch im klinischen Alltag nicht alle Krankheitsbilder zur Verfügung stehen, wird auf medial aufbereitete Fälle zurückgegriffen. Für die Präsentation aufbereiteter Fälle und die Interaktion mit ihnen eignen sich *computergestützte Lernprogramme*. Sie präsentieren multimedial aufbereitete Informationen und geben den Lernenden die Möglichkeit zur aktiven Auseinandersetzung mit einem virtuellen Patienten. Sie können allerdings den Patientenkontakt in den klinischen Fächern nicht ersetzen. Ebenso ist die Übung ärztlicher Gesprächs- und Untersuchungstechniken nicht möglich [Sönnichsen u. a., 2005].

4.3 Computerbasierte medizinische Aus- und Fortbildungssysteme

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. Die zeitliche und räumliche Flexibilität des Lernens spielt bei der ärztlichen Berufsgruppe eine sehr große Rolle. Der Besuch traditioneller CME-Kurse ist weitaus zeit- und kostenaufwendiger.

Vermitteltes Wissen. Multimedial aufbereitete, elektronisch abrufbare Lerninhalte dienen u.a. zur theoretischen und praktischen Vermittlung anatomischen Wissens sowie zur differenzierten Darstellung fallspezifischer Therapie- und Diagnosemöglichkeiten unter Berücksichtigung anatomischer und pathologischer Besonderheiten. Bei der Vermittlung neuer Diagnose- und Operationstechniken sowie Medizintechnologien weisen computergestützte Ausbildungssysteme ein besonderes Potenzial auf. Entsprechende Inhalte sind, vor allem im Internet, schneller aktualisierbar als in Lehrbüchern. Reale Patientendaten, wie z.B. Informationen zur Anamnese, zu Untersuchungen sowie Röntgenbilder oder Schichtbilddaten, können eingebunden werden. Für eine ganzheitliche Informationsvermittlung können computergestützte Ausbildungssysteme den kompletten klinischen Arbeitsablauf abbilden, wobei z.B. bei Ausbildungssystemen zum Therapietraining die Auswahl und die Umsetzung optimaler Behandlungsstrategien im Vordergrund steht.

Vermittelte Fähigkeiten. Mit entsprechenden Ausbildungs- und Trainingssystemen werden kognitive und affektive Fähigkeiten vermittelt. Zum Training sensomotorischer Fertigkeiten dienen (haptische) Chirurgiesimulatoren, die in der Mehrzahl für laparoskopische Eingriffe entwickelt werden. Diese Simulatoren sind darauf spezialisiert, Gewebe realitätsnah visuell und haptisch abzubilden und den Probanden Kollisionen der virtuellen Instrumente mit den anatomischen Strukturen zurückzumelden. Ähnlich zu Flugsimulatoren, in denen Piloten das Fliegen trainieren, können auf diese Weise ohne Gefährdung der Patienten kritische Situationen trainiert werden, bis die notwendige Kompetenz in der Bewältigung dieser Situationen erreicht ist. Kritische Situationen im Bereich der Chirurgie sind beispielsweise unerwartet auftretende Blutungen oder die Verletzung umliegender Organe, z.B. der Blase, bei Eingriffen im Bauchraum.

Methoden. Für die computergestützte Vermittlung von Wissen und Fertigkeiten steht eine große Bandbreite unterschiedlicher Methoden und Medien zur Verfügung. Es bieten sich vielfältige Möglichkeiten, um eine effiziente Wissensvermittlung zielgruppenspezifisch und in Abhängigkeit vom Nutzungskontext zu erreichen. So können den Lernenden beispielsweise mit Hilfe interaktiver Modelle aktiv theoretisches Wissen und übergeordnete Zusammenhänge vermittelt werden. Vorteile computergestützter Ausbildungssysteme bestehen gegenüber Lehrbüchern, neben der Möglichkeit multimedialer Inhaltsvermittlung, z.B. in der freien Exploration von Falldaten, einer umfangreichen und aktualisierbaren Fall- und Inhaltsbasis, der

Möglichkeit von Feedbackmechanismen und adaptiver Lernpfadsteuerung sowie der objektivierbaren Kontrolle des Lernerfolgs. Die Ausbildung kann mit dieser Unterstützung interaktiver gestaltet werden als auf Basis von Lehrbüchern und Videos. Zugleich werden die Abhängigkeiten von chirurgischen Experten und einschlägigen Falldaten vermieden, die für andere Formen der chirurgischen Ausbildung (z.B. OP-Kurse, Hospitanzen) typisch sind.

Akzeptanz. Um die Nutzung computer- und webbasierter Systeme zu erhöhen, müssen sie ins Curriculum integriert werden [Fischer u. a., 2008]. Die curriculare Integration ist allerdings bisher nicht oder nur unbefriedigend gegeben [Sönnichsen u. a., 2005]. Die Systeme werden eher als zusätzliches Medium gesehen, deren Akzeptanz stark durch die Dozenten beeinflusst wird [Leven u. a., 2006]. Das bisher unüberschaubare Angebot an e-Learning Systemen macht es unerfahrenen Nutzern schwer, aus dem vielfältigen und verstreuten Angebot das für sie Passende zu finden. Ein zentrales Portal für medizinische e-Learning Plattformen im Internet wäre hilfreich. Ein weiteres Problem stellt die bisher mangelnde Zertifizierung dar [Sönnichsen u. a., 2005]. Die *potenziellen Nutzer* computerbasierter Lernsysteme weisen eine große Bandbreite unterschiedlicher Erfahrungen, Wissen und Bedürfnisse auf [Lehmann, 2004]:

- *Studierende* sind die primäre Benutzergruppe computerbasierter Lernsysteme. Sie nutzen die Lernsysteme vor allem begleitend zu klassischen Lehrveranstaltungen, um den Lernstoff zu vertiefen, praktische Aufgaben am Patienten vorzubereiten oder um orts- und zeitunabhängig zu lernen. Sie müssen die Fähigkeit zum selbstgesteuerten Lernen und Motivation besitzen.
- *Ärzte in der Aus- und Weiterbildung* nutzen teilweise dieselben Lernsysteme wie die Studierenden, da die Systeme oft nicht speziell für einen bestimmten Abschnitt der Ausbildung entwickelt werden. Sie sind sogar oft auch für praktizierende Ärzte als Fortbildungs- oder Auskunftssysteme geeignet.
- *Nicht-ärztliche Berufsgruppen*, z.B. Angestellte der Krankenhausverwaltung und Pflegedienste, nutzen ebenso speziell für sie entwickelte Lernsysteme, die zu einer besseren Verständigung zwischen den verschiedenen Berufsgruppen und damit zu einer verbesserten Versorgung der Patienten führen sollen.

4.3.1 Multimediale Handbücher und elektronische Atlanten

Multimediale Handbücher und elektronische Atlanten sind für das Nachschlagen von Informationen und Lernen von anatomischen Zusammenhängen konzipiert. Sie richten sich an einen breiten Kreis von Anwendern, der von Studenten bis hin zu Fachärzten im klinischen Alltag reicht. Der Schwerpunkt liegt auf dem schnellen Auffinden der gesuchten Informationen. Die Inhalte werden multimedial aufbereitet und dargestellt. Dafür kommen Bilder, Videos, interaktive 3D-Darstellungen und Animationen zum Einsatz. Der Zugang zu multimedialen Handbüchern und elektronischen Atlanten kann beispielsweise aus einem interaktiven Kurs oder einem Simulationssystem heraus erfolgen. Der Aufruf gleicht damit einer Hilfefunktion zum Nachschlagen von Wissen. Möglich sind aber auch Handbücher und Atlanten im Internet oder als Installation auf dem PC. Multimediale medizinische Handbücher und elektronische

Atlanten können der Präsentations- und Visualisierungssoftware zugeordnet werden. Sie dienen damit der selbstständigen Aneignung von Wissen.

Die VOXELMAN Atlanten der Anatomie und Radiologie gibt es für verschiedene Körperregionen und Organsysteme (innere Organe, Gehirn und Schädel, obere Extremitäten) [Höhne u. a., 2003a,b]. Die Atlanten basieren auf den fotografischen und computertomographischen Daten des *Visible Human Projektes* [Ackerman, 1995]. Für den Atlas der inneren Organe wurden 650 anatomische Strukturen des Thorax und des Abdomens, einschließlich nervaler und kardiovaskulärer Systeme, segmentiert und annotiert. Die 3D-Anatomie kann in interaktiven Szenen exploriert werden. Dabei haben die Benutzer die Möglichkeit, die Blickrichtung auf die Szene durch Rotation zu ändern und die Anatomie in Schichten von außen nach innen ein- oder auszublenden. Die Modelle enthalten Beschriftungen der anatomischen Strukturen sowie umfassende anatomische Beschreibungen. Die anatomischen Bezeichnungen und Beziehungen (z.B. Struktur X ist Teil von Struktur Y, Struktur A zweigt ab von Struktur B) zwischen den Objekten sind in einem semantischen Netz gespeichert. Im Zusammenhang mit den anatomischen 3D-Modellen können zusätzlich radiologische Daten betrachtet werden. Einige Szenen sind sogar im stereoskopischen Format vorhanden. Als Zielgruppe werden nicht nur Medizinstudenten sondern auch Fachleute aller medizinischer Gebiete und Laien angegeben. Das Selbstlernkonzept der Präsentations- und Visualisierungssoftware ist in den VOXEL-MAN Anatomieatlanten deutlich erkennbar. Die Informationen werden in offener Struktur präsentiert. Die Lernenden müssen ihre Lernziele und Aufgaben selbstständig definieren. Sie müssen sich beispielsweise für eine Sichtweise der Szene (topographische Anatomie, systematische Anatomie, Peritonealverhältnisse) entscheiden und die Reihenfolge der zu betrachtenden Strukturen bestimmen.

WEBSURG (www.websurg.com) ist ein onlinebasiertes Präsentationssystem (siehe Abbildung 4.1). Es bietet seinen Benutzern für eine Vielzahl von Organen und Pathologien anatomische Grundlagen, Experten-Vorträge, Informationen zu laparoskopischen Operationstechniken und Instrumenten, intraoperative Videos, Experteninterviews, Diskussionen und Beschreibungen klinischer Fälle [Mutter u. a., 2005]. Analog zu den VOXEL-MAN Programmen müssen sich die Lernenden ihre Lerninhalte und deren Reihenfolge eigenständig zusammenstellen. Es stehen keine Unterstützung oder Tests zur Verfügung. Lediglich innerhalb einiger aufbereiteter Beschreibungen, z.B. chirurgischer Operationstechniken, werden die Lernenden schrittweise durch das Thema geführt. Beim Kurs zur Durchführung einer laparoskopischen Hemihepatektomie rechts (operative Entfernung des rechten Leberlappens) werden nach einer Einführung der Technik zunächst die chirurgische Anatomie, Indikationen, Aspekte der Anästhesie und des OP-Saals beschrieben, bevor auf den Eingriff eingegangen wird. Abgerundet wird die Beschreibung durch die Erläuterung des postoperativen Vorgehens und mögliche Ergebnisse der Operation.

Bei WEBOP (www.webop.de) handelt es sich um eine ähnliche, wenn auch nicht so umfangreiche, Onlineplattform für die chirurgische Lehre. Hier werden aufbereitete Videos operativer Eingriffe zur Verfügung gestellt. Zusätzlich steht ein Forum zur Verfügung, in dem fachliche Diskussionen geführt werden können. Registrierte Mitglieder können eigene OP-Videos auf der Plattform präsentieren.

Abbildung 4.1: WEBSURG *Screenshot der Beschreibung der Hemihepatektomie rechts (Quelle: www.websurg.com). Mit Hilfe von textuellen Beschreibungen, schematischen Darstellungen, Animationen, OP-Fotos und Videos werden dem Lernenden alle wichtigen Aspekte dieses Eingriffs vermittelt.*

4.3.2 Falldatenbanken

In der ärztlichen Aus- und Weiterbildung spielt der Austausch und die Begutachtung von realen Patientenfällen eine wichtige Rolle. Die Sammlung von verfügbaren Fällen mit umfassenden Informationen in einer Datenbank ermöglicht einen uneingeschränkten Zugriff. Auf diese Weise können auch seltene Fälle und klinische Erfahrungen einer breiten Masse an Lernenden und Interessierten zugänglich gemacht werden. Die Falldatenbank beinhaltet alle relevanten Informationen der Fälle in strukturierter Form. Dabei handelt es sich um die anonymisierte Dokumentation aus der Patientenakte (z.B. Anamnese, Patientendaten, Befunde, Berichte, Protokolle, klinische Evaluierungen) und Bildmaterial (DICOM-Datensätze, Video- und Bildaufnahmen vom Eingriff). Aus Datenschutzgründen müssen alle patientenrelevanten Informationen anonymisiert werden. Das schnelle Auffinden von Fällen und Informationen ist wichtig. Dafür ist eine Suchfunktion notwendig, mit der die Fälle anhand bestimmter Merkmale durchsucht werden können. Falldatenbanken können ebenfalls in die Kategorie Präsentations- und Visualisierungssoftware eingeordnet werden. Neben ihrem Einsatz zur selbstständigen Vertiefung des Wissens und als Nachschlagewerk können sie als Fallbasis für Lern- und Trainingssysteme genutzt werden.

Die Falldatenbank der DEUTSCHEN MEDIZINISCHEN WOCHENSCHRIFT DES THIEME VERLAGS (www.thieme.de) beinhaltet didaktisch aufbereitete Fallbeispiele der Universitätsklinik Tübingen. Die Fälle werden durch Videos, Audiokommentare und interaktive Elemente aufgewertet.

Eine weitere Datenbank mit radiologischen Fallbeispielen enthält Fälle aus Heidelberg und Mannheim (mirc.medma.uni-heidelberg.de). Es werden die Patienten mit allen notwendigen Informationen und ihrer Anamnese vorgestellt. Die radiologischen Daten (z.B. Röntgenbilder, Computertomographie-Schichtbilder) und die auf ihrer Basis erstellten Befunde werden präsentiert (siehe Abbildung 4.2).

Ein weiteres Beispiel ist die FALLDATENBANK DER INDIANA UNIVERSITY SCHOOL OF MEDICINE (www.bloomington.medicine.iu.edu/). Sie enthält zusätzlich zu den fallbezogenen Daten jeweils einen abschließenden Test, der die wichtigsten Punkte des Falls festigen soll. Diese Falldatenbank besitzt demnach nicht nur Präsentationscharakter, wie die beiden vorangegangenen Beispiele, sondern zusätzlich Elemente eines Trainings- und Testprogrammes, die dem tutoriellen Konzept entsprechen.

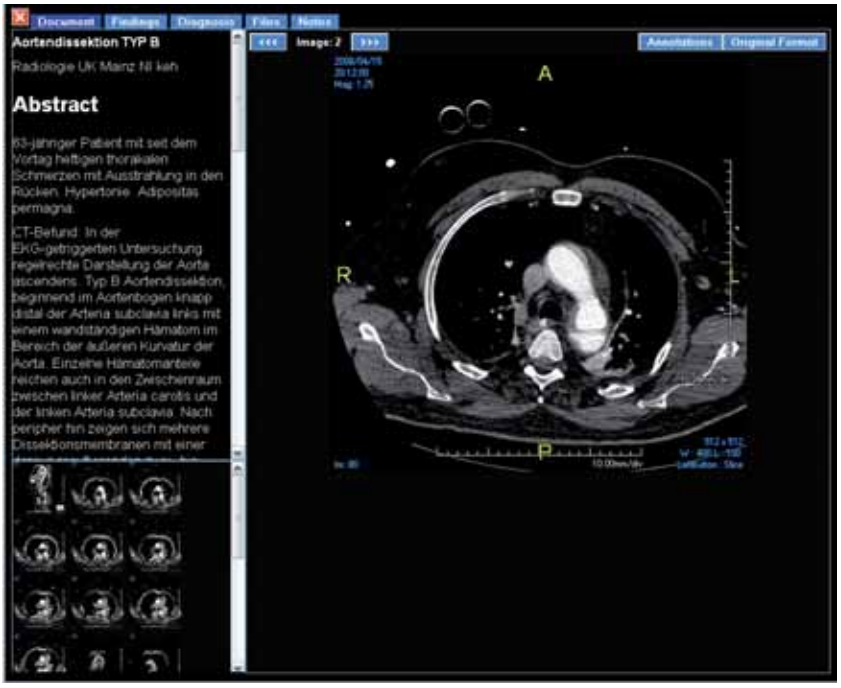


Abbildung 4.2: *Screenshot* MIRC MEDMA *(mirc.medma.uni-heidelberg.de). Links bekommen die Lernenden textuelle Hintergrundinformationen zum Fall sowie eine Übersicht der vorhandenen radiologischen Bilddaten. Diese werden im Anzeigebereich rechts präsentiert.*

4.3.3 Interaktive Kurse

Ein interaktiver Kurs ermöglicht den Lernenden die Behandlung eines (fiktiven) Patienten. Dabei können sie die Anamnese, Diagnose, Therapie und Nachsorge einer bestimmten Krankheit vollständig oder in Teilen durchführen. Die Lernenden bekommen so ein ganzheitliches Bild des Diagnose- und Therapieprozesses, wie er im klinischen Alltag durchgeführt wird. Die Inhalte interaktiver Kurse sind didaktisch aufbereitet. Die Lernenden interagieren mit dem

System und den Fallinformationen und eignen sich auf explorative Weise das Wissen an (problemorientiertes Lernen). Das System liefert ihnen Rückmeldung über ihren Lernfortschritt. Interaktive Kurse eignen sich nicht zum Nachschlagen von Wissen. Sie sind in der Regel für Medizinstudenten konzipiert. Interaktive Kurse können in der Mehrheit den tutoriellen Systemen zugeordnet werden. Es werden neue Lerninhalte schrittweise vermittelt und es erfolgt eine detaillierte Rückmeldung zu Antworten des Nutzers.

CASUS (www.casus.eu) [Fischer u. a., 1999] ist ein webbasiertes, fallorientiertes, multimediales Lernsystem, das eine Vielzahl unterschiedlicher Fallbeispiele verschiedener Fachbereiche beinhaltet. Dem Lernsystem liegen konstruktivistische Instruktionstheorien zugrunde, die eingesetzt werden, weil sie sich mit der problemorientierten Konzeption von Lernumgebungen befassen.

Basierend auf diesen Theorien besitzt CASUS die folgenden sechs Elemente als Grundbausteine [Fischer, 2001; Hege u. a., 2008]:

- Gliederung des Lernfalls in einzelne Abschnitte
- Multimediale Elemente
- Bildung von Differenzialdiagnosen
- Expertenkommentar
- Lexikon
- Interaktive Elemente

CASUS dient zur praxisnahen Vermittlung von Diagnostik und (medikamentöser) Therapie. Die Lernenden bekommen multimedial aufbereitete Fälle in Form von Texten und Bildern präsentiert. Sie müssen Entscheidungen zu Diagnosen und Therapien treffen, für die ihnen Freitexteingaben oder Auswahlantwortmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Es erfolgt eine zeitnahe Bewertung der Antwort. Die Lösungen des Experten sind optional jederzeit abrufbar und die Lernerfolge der Lernenden können bei Bedarf dokumentiert werden. Die Zielgruppe von CASUS sind Medizinstudenten, aber auch der Einsatz in der zertifizierten ärztlichen Weiterbildung ist vorgesehen. Es wird im Rahmen des Selbststudiums eingesetzt, aber auch curricular eingebunden. CASUS ist gleichzeitig Lern- und Autorensystem. Fallautoren können so ohne Umgewöhnung, ebenfalls webbasiert und didaktisch strukturiert, schnell neue Fälle in das System integrieren.

Mit dem CAMPUS-System (www.medicase.de) [Haag, 1998; Huwendiek u. a., 2006] können Studierende ebenfalls multimedial aufbereitete, realistische Patientenfälle bearbeiten (siehe Abbildung 4.3). Auch dieses System steht den Lernenden online oder als lokale Installation zur Verfügung. Die Nutzer lernen die fallabhängige Anordnung und Durchführung von Untersuchungen (Anamnese, körperliche, technische und Laboruntersuchungen) sowie das Treffen von Diagnosen und Therapieentscheidungen. Die Falldaten werden aus einer Datenbank abgerufen und weltweit verfügbare digitale Bibliotheken können zur Entscheidungsfindung herangezogen werden. Weitere Hintergrundinformationen zum Fall liefern die Kommentare eines virtuellen Tutors. Damit wird gleichzeitig fallbasiertes Wissen sowie systematisches Wissen

und der Umgang mit Thesauri vermittelt. Die Lernenden müssen selbstständig entscheiden, welche der gebotenen Informationen sie für ihre Entscheidungsfindung nutzen. Die Ergebnisse des Lernenden werden mit denen des realen Falls verglichen. Wie bei CASUS besitzt auch das CAMPUS-System eine Autorenkomponente, die die unkomplizierte Integration der Falldaten ermöglicht. Das System kann an den Wissensstand und die Vorlieben des Lernenden angepasst werden. Es bietet zwei Varianten des Lernens. Bei CAMPUS-CLASSIC können die Nutzer frei interagieren und Untersuchungen anordnen und durchführen. CAMPUS-CARD führt den Lernenden sequentiell durch den Prozess der Diagnose und Therapie.

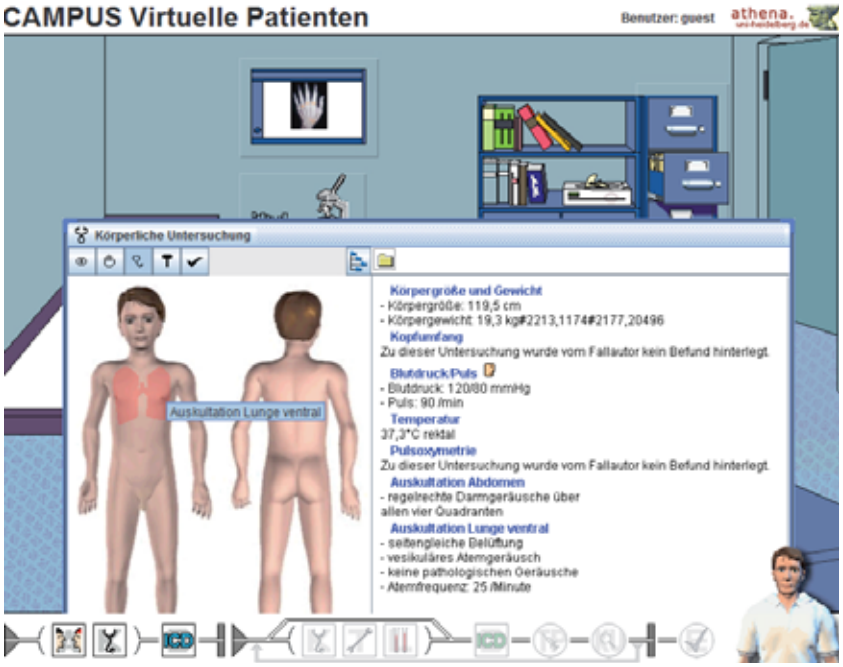


Abbildung 4.3: *Screenshot von* CAMPUS. *Der Lernende kann durch freies Fragen die Anamnese erstellen und virtuell Untersuchungen durchführen.*

Beide Systeme besitzen durch ihre Fallbasiertheit die Vorteile des problemorientierten Lernens. Die Lernenden werden angeregt, sich aktiv mit den Lerninhalten auseinander zu setzen. Es handelt sich bei CASUS und CAMPUS um Systeme, die hauptsächlich tutoriellen Charakter haben. Die Lerninhalte werden schrittweise präsentiert. Es ist nur eine eingeschränkte Navigation innerhalb der Fälle möglich. CAMPUS lässt den Lernenden in einer zweiten Version mehr Freiheiten, hier kann der Fall frei bearbeitet werden. Das verfügbare Wissen ist nicht sequentiell angeordnet. Die Lernenden bekommen jeweils detailliertes Feedback zu ihren Antworten und Entscheidungen. Sie bekommen neben dem inhaltlichen Feedback auch Hilfen zum Ablauf und der Bedienung des Systems.

Eine spezielle Form der interaktiven Kurse stellen chirurgische Trainingssysteme dar, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll.

4.3.4 Chirurgische Trainingssysteme

Chirurgische Trainingssysteme dienen zur theoretischen und praktischen Vermittlung von anatomischen und pathologischen Besonderheiten sowie von Therapiemöglichkeiten und deren Planung. Dazu werden in der Regel reale Patientendaten verwendet. Chirurgische Trainingssysteme bilden den kompletten klinischen Workflow ab, wobei die Auswahl optimaler Behandlungsstrategien und das Training von Planungs-, Interventions- und Operationstechniken im Mittelpunkt stehen. Sie sind in den meisten Fällen auf das Training im Bereich eines chirurgischen Feldes beschränkt (z.B. Leberchirurgie, Wirbelsäulenchirurgie). Die Lernenden führen ihre Therapieentscheidung und die Planung bzw. Durchführung des Eingriffs anhand *patientenindividueller Schichtbilddaten und interaktiver 3D-Modelle* durch. Basiert das Trainingssystem auf Patientendaten, werden dem Lernenden abschließend Informationen zum real durchgeführten Eingriff und zum postoperativen Verlauf präsentiert. Auf diese Weise bekommt er Einblicke in die klinische Vorgehensweise und Erfolge der real durchgeführten Therapie. Ein besonderes Potenzial weisen chirurgische Trainingssysteme bei der Vermittlung neuer Operationstechniken und dem Einsatz neuer Instrumente auf, die teilweise in Lehrbüchern (noch) nicht reflektiert sind.

EDHEADS (www.edheads.org) entwickelt freie, onlinebasierte Ausbildungsprogramme für verschiedene Gebiete. Für den Bereich der Chirurgie gibt es drei Anwendungen (VIRTUAL KNEE SURGERY, VIRTUAL HIP RESURFACING, VIRTUAL HIP REPLACEMENT), die im Comicstil beispielsweise die Grundlagen und Arbeitsschritte für Einsetzen von Implantaten im Knie sowie in der Hüfte vermitteln (siehe Abbildung 4.4). Die Lernenden bekommen zu Beginn die notwendigen Hintergrundinformationen zum Patienten, die Angaben zur Anamnese, die Vitalwerte (z.B. Puls, Blutdruck, Körpertemperatur) und die Röntgenbilder präsentiert. Die Nutzer müssen anhand der Werte die Operabilität des Patienten einschätzen und anschließend mit Hilfe virtueller Instrumente den Eingriff durchführen. Zwischendurch bekommen sie immer wieder fachliche Fragen gestellt. Sie erhalten zeitnah Informationen über die Korrektheit der Antworten. Zusätzlich stehen kommentierte Fotos eines realen Eingriffs zur Verfügung. Ein Tutor führt durch das Programm und den Eingriff.

Für das Training chirurgischer Fähigkeiten sind bisher nicht viele interaktive Trainingssysteme bekannt. Es kommen vorrangig Chirurgiesimulatoren für das Training manueller Fertigkeiten zum Einsatz.

4.3.5 Chirurgiesimulatoren

Für das Training von Operations- und Interventionstechniken, hauptsächlich für minimalinvasive Eingriffe, werden Chirurgiesimulatoren entwickelt. Im Gegensatz zu einer konventionellen Operation liegt bei diesen Eingriffen die Schwierigkeit in der Hand-Auge-Koordination. Das Operationsgebiet befindet sich im Patienten und ist nur durch kleine Schnitte, durch die eine Kamera und die Instrumente eingeführt werden, erreichbar. Selbst für erfahrene Chirurgen auf dem Gebiet der offenen Chirurgie sind diese Eingriffe deshalb nicht trivial.

Abbildung 4.4: *Screenshot von* EDHEADS - VIRTUAL KNEE SURGERY *(www.edheads.org). Das Programm vermittelt mit Hilfe einfacher comicartiger Darstellungen die Vorgehensweise beim Einsetzen eines künstlichen Kniegelenkes. Der Nutzer wählt aus einer Menge an Instrumenten das passende, führt es zum Einsatzgebiet und die Aktion wird durchgeführt.*

Die Vorteile von Simulatoren liegen in der realitätsnahen Darstellung von Geweben und der realitätsnahen Interaktion mit haptischem Feedback. Kritische Aufgaben bzw. adäquate Reaktionen können solange in der virtuellen Realität ohne die Gefährdung von Patienten trainiert werden, bis die notwendige Kompetenz erreicht wird.

Die Erstellung von Inhalten für medizinische Einsatzzwecke ist bisher sehr aufwendig. Es existiert allerdings ein hoher Grad an messbarem Lernerfolg [Andreatta u. a., 2006; Ahlberg u. a., 2007]. Aufgrund des hohen Aufwandes bei der Erstellung der 3D-Modelle ist bisher überwiegend kein fallbasiertes Training möglich. Eine weitere Schwierigkeit stellt die Verfügbarkeit von Simulatoren dar. Bedingt durch die hohen Kosten und die bisher noch geringe Akzeptanz, werden sie hauptsächlich im Rahmen chirurgischer Kurse, z.B. am EUROPEAN SURGICAL INSTITUTE (ESI), für das Training eingesetzt. Nur wenige Kliniken können den Ärzten in der Ausbildung den Zugang zu einem Simulator bieten. Die Simulatoren werden dem explorativen Lernkonzept zugeordnet.

Der LAPMENTOR [Simbionix, 2009] ist ein Chirurgiesimulator für das Training grundlegender Fertigkeiten bei laparoskopischen Eingriffen an einem virtuellen Patienten (z.B. Gallenblasenentfernung, Magenbypass, Leistenbruch). Der Benutzer wird schrittweise an die Handlungsabläufe und die Handhabung der Instrumente herangeführt und bekommt haptisches Feedback. Der Simulator verwendet aktuelle Instrumente und laparoskopische Kameras mit 30° oder 0° Optik. Es liegt eine Bibliothek virtueller Patienten zugrunde, die auf realer Anatomie basieren. Die aus CT bzw. MRT-Daten erzeugten 3D-Modelle enthalten anatomische Variationen und Pathologien sowie den kompletten Verlauf, inklusive Bildgebung und Labo-

rergebnissen. Es stehen verschiedene Module für das Training grundlegender Fertigkeiten, Übungen prozeduraler Aufgaben sowie für die Simulation des kompletten Ablaufs zur Verfügung. Das Training der Grundlagen erfolgt im Vorfeld in nicht-anatomischen Szenen. Das System unterstützt sowohl individuelles Training als auch das Training in Gruppen. Alle Benutzerdaten werden gespeichert. Während des Trainings wird eine Vielzahl quantitativer Parameter zur Bewertung der Leistung aufgezeichnet, die intern verwaltet und in Statistiken dargestellt werden kann.

Der Simulator VOXEL-MAN TEMPOSURG (www.voxel-man.de) [Pflesser u. a., 2000] wurde für das Training von Operationen am Mittelohr entwickelt. Er basiert auf den VOXEL-MAN-Daten (siehe Abschnitt 4.3.1). Der Lernende trainiert an einem virtuellen OP-Gebiet, das durch einen Spiegel auf einem stereoskopischen Bildschirm (eine Spezialbrille ist notwendig) betrachtet werden kann. Der Trainierende findet so fast identische Verhältnisse wie bei einem realen Eingriff vor, was die Orientierung des Patienten, die Sichtrichtung des Chirurgen, die Orientierung der Hand und das haptische Gefühl betrifft. Es wird die Knochenabtragung mit Hilfe verschiedener Instrumente simuliert. Werden Risikoorgane bei dem virtuellen Eingriff verletzt, ertönt ein Alarm. Die Trainingsfälle des Simulators werden auf Basis realer Patientendaten erstellt. Für wichtige Organe kann optional eine Annotation eingeblendet werden. Zusätzlich werden unerfahrene Nutzer durch farbige Hervorhebung von Organen in 3D und den zweidimensionalen orthogonalen Sichten sowie durch verschiedene Hilfestufen unterstützt. Das System ist auch für die Planung chirurgischer Eingriffe geeignet. Virtuelle Knochenmodelle können mit importierten patientenspezifischen DICOM CT-Daten erstellt werden. In der VOXEL-MAN Gruppe wurden außerdem zwei weitere Simulatoren entwickelt: VOXEL-MAN SINUSURG für das Training von Operationen in den Nasennebenhöhlen sowie VOXEL-MAN DENTAL für die zahnmedizinische Ausbildung.

Am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung und der Universität Magdeburg wird im Rahmen des Projektes VIERFORES (Virtuelle und Erweiterte Realität für höchste Sicherheit und Zuverlässigkeit von Embedded Systems) an einem Simulatorsystem für laparoskopische Eingriffe gearbeitet. Für die Simulationen werden patientenindividuelle Daten und zusätzlich generierte Variationen genutzt. Die Gewebeeigenschaften von Tumoren und anatomischen Strukturen werden berücksichtigt. Die krankheitsspezifische Generierung der Trainingsszenarien ermöglicht den Chirurgen das Training von Fällen, die bisher nicht als patientenindividuelles Szenario zur Verfügung stehen [Adler u. a., 2010].

4.3.6 Webbasierte e-Learning Angebote

Webbasierte chirurgische Lernplattformen ermöglichen die Vernetzung von Chirurgen und deren kooperative Erstellung von Inhalten. Sie bieten die Möglichkeit des Austauschs fallspezifischer bzw. patientenspezifischer Informationen und die Möglichkeit zur Diskussion von innovativem Anwendungswissen, insbesondere unter Berücksichtigung des gesamten OP-Prozesses von der präoperativen Planung über die intraoperative Intervention bis zum Patientenmonitoring. Damit wird den Nutzern ein schneller und tiefgehender Erwerb von Anwendungswissen in der großen Brandbreite patientenindividueller OP-Situationen ermöglicht.

Lerninhalte webbasierter chirurgischer Trainingssysteme sind beispielsweise sorgfältig aufbereitete medizinische Bilddaten in Kombination mit Informationen zum jeweiligen klinischen Kontext. Auf dieser Basis kann Wissen zur Diagnostik- und Behandlungsplanung vermittelt, ggf. sogar durch interaktive Bearbeitung von 3D-Modellen mit leistungsfähigen Weblösungen trainiert werden. Dabei sollte adäquates Feedback auf Basis von Expertenmeinungen und Diskussionen in der Community gegeben werden. Ein zentrales Element könnten beispielsweise Videos sein, in denen chirurgische Experten ihre qualifizierungsgeeigneten bzw. diskussionsrelevanten Fälle vorstellen. Anhand medizinischer Bilddaten werden relevante Besonderheiten hervorgehoben und diese anhand von 3D-Animationen im Hinblick auf ihre räumliche Lage sowie Behandlungsoptionen (z.B. Resektionsstrategien, Gefäßrekonstruktionen etc.) veranschaulicht. Diese Videos und andere Elemente der Fallsammlung können kommentiert werden.

Neben der Darstellung relevanter Ausschnitte aus realen Operationen kann die Planung der Eingriffe z.B. anhand von Schichtbilddaten, abgeleiteten 3D-Daten oder schematischen Darstellungen mit Hilfe von Videos bzw. interaktiven Simulationen veranschaulicht werden. Diese werden ebenfalls annotiert, um zu verdeutlichen, wie die Therapieentscheidung zustande kommt. Die Lage von Tumoren zu Risikostrukturen, die Beurteilung etwaiger Infiltrationen, die Frage, ob eine Gefäßrekonstruktion nötig ist und ggf. wie diese bewerkstelligt werden kann sowie die Festlegung des Zugangs zum Operationsgebiet gehören zu diesen Therapieentscheidungen. Neben klassischen Videos, bei denen sich die Interaktivität auf das Vor- und Zurückspulen beschränkt, werden Videos erstellt, in denen der Benutzer auch die dargestellten 3D-Objekte frei drehen kann (Quick-Time-VR Videos).

Neue Technologien können frühzeitig in der Chirurgen-Community kommuniziert und diskutiert werden, um ohne Verzug sinnhafte Entwicklungen in den breiten Einsatz bringen und unvorteilhafte Anwendungen im Wege der Expertendiskussion ausscheiden zu können. Für den Informationsaustausch, Diskussionen und Kommentare werden Foren, (Experten-) Chats, Blogs und Podcasts genutzt.

4.4 Richtlinien in der Medizin

Im Bereich der Medizin existiert eine Vielzahl an Leitlinien, die die *Diagnostik und Therapie* bestimmter Krankheitsbilder beschreiben und als Entscheidungshilfe dienen soll. Die Leitlinien werden beispielsweise von der Bundesärztekammer, der Kassenärztlichen Bundesvereinigung, der Arbeitsgemeinschaft der wissenschaftlichen medizinischen Fachgesellschaften e.V. und dem Ärztlichen Zentrum für Qualität in der Medizin herausgegeben. Diese Leitlinien gibt es für alle Fachgebiete, verschiedene Länder und auch in speziellen Versionen für die Patienten.

Weiterhin gibt es Richtlinien der Bundesärztekammer, die beispielsweise die *Erstellung von Gutachten* oder *Abläufe im Labor* festlegen oder zur *Qualitätssicherung* in der radiologischen Diagnostik eingesetzt werden.

Für die Sicherheit und den Schutz der Gesundheit von Patienten, Anwendern und Dritten müssen Medizinprodukte den Richtlinien und *Normen der Medizintechnik* entsprechen, die z.B. Aspekte des Qualitäts- und Risikomanagements und die von den Herstellern bereitgestellten Informationen zu den Produkten regeln (z.B. MPG, DIN EN 60601-1, DIN EN 14971).

4.5 Zusammenfassung und Diskussion

Entwickler chirurgischer Trainingssysteme sollten Wissen über die *Qualifikationswege der Ärzte* besitzen. Dieses Wissen sollte in die Konzeption einfließen, um eine nahtlose Integration in die Aus- und Weiterbildung zu gewährleisten. Außerdem ist es förderlich, auf gewohnte und bewährte Konzepte der Wissensvermittlung der Domäne zurückzugreifen. Dazu zählt das problemorientierte Lernen. Es werden auch zunehmend computerbasierte Ausbildungs- und Trainingssysteme für den medizinischen Bereich entwickelt, die die Ausbildung unabhängiger von den zur Verfügung stehenden Experten und dem in den Kliniken vorhandenen Fallspektrum machen. Sie sind jedoch bisher nur sporadisch in die klassischen Lehrpläne integriert. Ihre Nutzung ist ein ebenfalls kein fester Bestandteil der Facharztausbildung oder Fortbildung. Sie erfolgt überwiegend freiwillig.

Die *Analyse existierender Lernsysteme* hat ergeben, dass es eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme gibt, die sich der Vermittlung von theoretischem Wissen und teilweise praktischen Fertigkeiten widmen. Es handelt sich häufig um *multimediale Handbücher*, die computerbasiert das Nachschlagen von multimedial aufbereiteten Informationen erlauben. *Elektronische Atlanten* erlauben die Exploration der Anatomie basierend auf 3D-Modellen und radiologischen Schichtbilddaten. *Präsentationssysteme* bieten den Nutzern für bestimmte Fachbereiche beispielsweise medizinische Grundlagen sowie Informationen über Instrumente und Operationstechniken. Idealerweise wird dieses Wissen durch Interviews mit Experten, Beschreibungen ihres Vorgehens, Diskussionen, intraoperative Videos und klinische Fallbeschreibungen illustriert. Klinische Fallbeschreibungen können auch separat auf einer Plattform zur Verfügung gestellt werden. Diese *Falldatenbanken* ermöglichen einen uneingeschränkten Zugriff auf eine Vielzahl von Fällen. Interessant sind dabei vor allem die seltenen Fälle, die der breiten Masse an Lernenden in der klinischen Ausbildung nicht vermittelt werden können. Falldatenbanken können als Basis für *fallbasierte Lern- und Trainingssysteme* genutzt werden. Diese Systeme dienen zur theoretischen und praktischen Vermittlung von anatomischen und pathologischen Besonderheiten sowie von Therapiemöglichkeiten und deren Planung. Therapieentscheidungen, Planungen und die Durchführung eines Eingriffs können auf der Basis patientenindividueller Schichtbilddaten und 3D-Modelle der Anatomie interaktiv durchgeführt werden. Sie bilden den kompletten klinischen Workflow ab und ermöglichen so ein realitätsnahes, problemorientiertes Lernen. *Interaktiven Kursen* fehlt die praktische Komponente der virtuellen Planung bzw. Durchführung einer Therapie. Sie bilden ebenfalls den klinischen Workflow ab und vermitteln ein ganzheitliches Bild des Diagnose- und Therapieprozesses. Diagnosen können gestellt, Untersuchungen und Therapien können angewiesen, aber nicht interaktiv durchgeführt werden. Eine realitätsnahe Durchführung von Eingriffen ermöglichen

Chirurgiesimulatoren durch die Darstellung von Geweben und die Interaktion mit haptischem Feedback. Sie werden hauptsächlich für laparoskopische Eingriffe entwickelt. Kritische Aufgaben können auf diese Weise ohne die Gefährdung von Patienten trainiert werden. Die hohen Kosten und geringe Akzeptanz sind Gründe für die bisher geringe Nutzung der Simulatoren.

Die im Bereich der Medizin untersuchten *Richtlinien* haben keinen Einfluss auf die im Rahmen dieser Arbeit erstellten Empfehlungen für die Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme. Sie sind zu speziell auf bestimmte Krankheitsbilder und Abläufe zugeschnitten. Wird eine *Zertifizierung* des Lern- oder Trainingssystems für die ärztliche Fortbildung angestrebt, sollten die dazugehörigen Richtlinien der jeweiligen Ärztekammer berücksichtigt werden. In den *Richtlinien zur Fortbildungszertifizierung der Ärztekammer* werden die notwendigen Voraussetzungen für anerkennungsfähige Fortbildungsveranstaltungen, die Anforderungen sowie das Antragsverfahren, Anforderungen zur Durchführung und Auswertung der Veranstaltung und Rahmenbedingungen des Fortbildungszertifikates beschrieben.

5 Szenariobasierte Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme

Bei der Erstellung chirurgischer Trainingssysteme müssen neben dem Verständnis komplexer Anwendungsprobleme, die Lerninhalte und Lernziele definiert, strukturiert und angemessen, in Bezug auf die didaktische Konzeption und den Einsatz von Medien, vermittelt werden. Das Verständnis und die Einbindung des oft impliziten Expertenwissens und die Bewertung des Lernerfolgs stellen dabei besondere Herausforderungen dar.

Wissenschaftliche Veröffentlichungen im Bereich der computergestützten Chirurgie konzentrieren sich auf Detailprobleme, wie die Segmentierung spezieller anatomischer Strukturen in medizinischen Bilddaten, die Quantifizierung krankhafter Veränderungen hinsichtlich Ausdehnung und Volumen oder die effiziente Darstellung und Annotation von 3D-Modellen der Patientenanatomie [Preim u. Bartz, 2007]. Eine systematische Vorgehensweise, bei der Methoden des Usability Engineerings gezielt angepasst und integriert werden, um den Besonderheiten chirurgischer Trainings- und Planungssysteme gerecht zu werden, ist bisher nicht bekannt.

Im Bereich der Aufgabenanalyse werden erfolgreich Workflowanalysetechniken eingesetzt, um operative Abläufe formal zu analysieren [Burgert u. a., 2007; Burgert u. Neumuth, 2010] (siehe Abschnitt 3.1.3). Workflows sind formaler und eindeutiger, aber nicht für Diskussionen mit Anwendern geeignet. Eine Kombination der Workflows mit der szenariobasierten Vorgehensweise erscheint sinnvoll.

Die szenariobasierte Entwicklung [Rosson u. Carroll, 2001] hat großes Potenzial für eine benutzerzentrierte Entwicklung in den Bereichen chirurgische Planung und chirurgisches Training. Szenarien sind hier insbesondere geeignet, weil keine bzw. nur unzureichend dokumentierte Anforderungsanalysen und Erfahrungen vorliegen.

Während der Erstellung der Szenarien erfolgt eine intensive Auseinandersetzung der Entwickler mit der ärztlichen Vorgehensweise im klinischen Alltag. Es werden Sachverhalte und Schwierigkeiten bewusst, die sonst möglicherweise unbemerkt geblieben wären. Bei der Diskussion der Szenarien im Rahmen der Entwicklung des SPINESURGERYTRAINERS (siehe Kapitel 7) kristallisierte sich beispielsweise die Bedeutung von Fallvarianten zur Vermittlung von Differentialdiagnosen heraus. Ohne die Szenarien als Hilfsmittel hätten die Ärzte diesen Aspekt vermutlich nicht geäußert und die Relevanz für das Training herausgestellt. Mit Hilfe der Ist-Szenarien ist es für die Entwickler leichter, den notwendigen Einblick in Abläufe in den Kliniken und in der Ausbildung zu bekommen. Durch den Einsatz der Soll-Szenarien können

die Anforderungen an das System identifiziert, priorisiert und notwendige und überflüssige Funktionalitäten erkannt werden [Benyon u. a., 2005].

Bei der Entwicklung eines Systems für das Training von Leberoperationen, dem LIVERSURGERYTRAINER (siehe Kapitel 6) wurde zunächst, basierend auf Beobachtungen von Operationen und Interviews mit den Chirurgen, eine Liste mit Anforderungen erstellt. Da sich diese Form der Anforderungsanalyse als nicht ausreichend für die vielen Entwurfsentscheidungen erwiesen hat, wurde im fortgeschrittenen Stadium der Entwicklung auf die szenariobasierte Spezifikation zurückgegriffen [Cordes u. a., 2007a]. Die Szenarien waren für das Design der Trainingsschritte und bei der Auswahl und Beschreibung der Trainingsfälle sehr hilfreich. Sie wurden ebenfalls für die Entwicklung eines Planungssystems für die HNO-Chirurgie [Cordes u. a., 2009] eingesetzt.

5.1 Verwaltung der Szenarien

Um die Arbeit mit den Szenarien übersichtlich und nachvollziehbar zu gestalten, gibt es in Anlehnung an Benyon u. a. [2005] und basierend auf eigenen Erfahrungen die folgenden Aspekte bei der Verwaltung der Szenarien zu beachten:

1. *Reduktion von Redundanzen innerhalb der Szenarien.* Um die Entwicklung effizient zu gestalten, ist es notwendig, Redundanzen in den Szenarien zu reduzieren. Redundanzen treten häufig in Conceptual Scenarios oder Use Cases auf (siehe Abschnitt 3.1.2). Hier ist es sinnvoll, jeweils gemeinsame Hauptkomponenten (Common Components) mit einzelnen Kernkomponenten (Core Components) zu verknüpfen. Damit bleibt der Hauptteil des Szenarios konstant, während an bestimmten Positionen auf die jeweils zugehörigen Kernkomponenten zugegriffen werden kann.

2. *Verwaltung der Abhängigkeiten zwischen Szenarien.* Durch Anwendung einer hierarchischen Struktur bei der Verwaltung der Szenarien gewährleistet, dass nachvollzogen werden kann, welche Abhängigkeiten zwischen den Szenarien bestehen (siehe Abbildung 5.1). Bei der Strukturierung ist darauf zu achten, dass ein Conceptual Scenario aus mehreren User Stories entstanden sein kann. Ebenso kann ein Use Case aus mehreren Concrete Scenarios entwickelt worden sein.

3. *Änderungs- bzw. Versionsverwaltung.* Damit der Entwicklungsprozess nachvollziehbar bleibt, müssen die Änderungen bzw. verschiedenen Versionen eines Szenarios sowie deren Autoren verwaltet werden. Neue Szenarien sollten zunächst auf Abhängigkeiten überprüft und an die entsprechende Stelle in der hierarchischen Struktur eingebunden werden. Änderungen in vorhandenen Szenarien können entsprechend im Ausgangsdokument verlinkt werden.

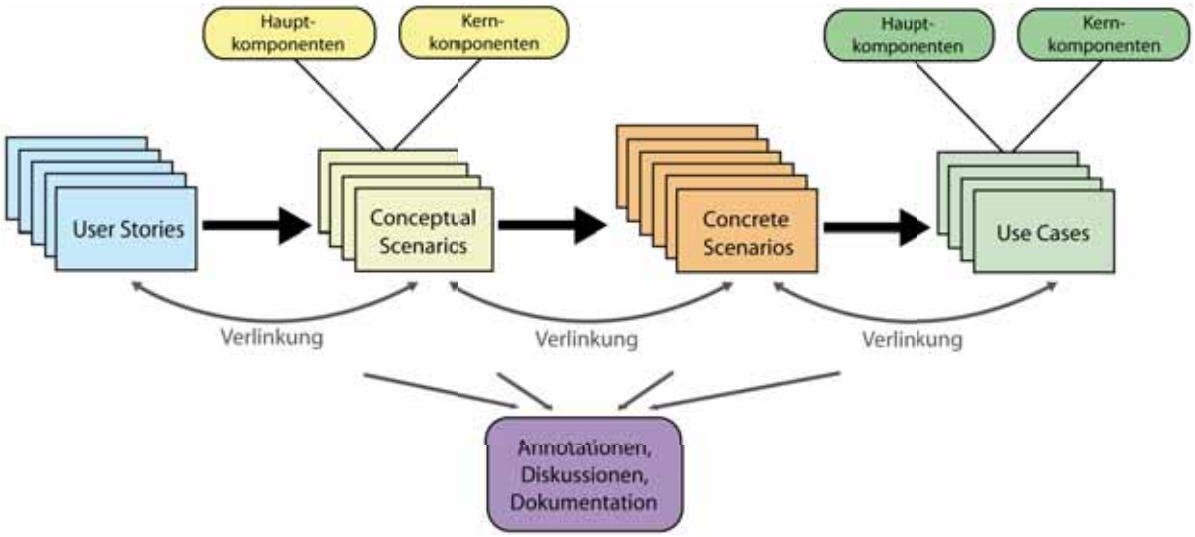


Abbildung 5.1: *Abhängigkeiten der Szenarien nach Benyon u.a.. Um Redundanzen zu vermeiden, erfolgt eine Aufteilung in Common und Core Components. Außerdem werden zusätzliche Informationen (z.B. Diskussionen, Autorenschaft, Layoutskizzen) verwaltet.*

4. *Zuordnung von Anmerkungen, Diskussionen, Bildmaterial und Kommentaren* zu Szenarien oder zu Abschnitten in Szenarien müssen ebenfalls verwaltet werden. Die verknüpften Anmerkungen enthalten Autor, Zeitpunkt und Inhalt des Kommentars. Es ist weiterhin sinnvoll, die Szenarien durch die Einbindung von Designskizzen oder Screenshots zu illustrieren. Die visuellen Komponenten spielen beim Entwurf chirurgischer Trainingssysteme eine wichtige Rolle, z.B. um geeignete Farbkombinationen bei der Darstellung anatomischer Strukturen zu erproben. Das Bildmaterial kann direkt in den Text eingegliedert oder im Text verlinkt werden.

5. *Dokumentation und Begründung von Entwurfsentscheidungen, Speicherung von Designalternativen.* Entwurfsentscheidungen sollten, ebenso wie Anmerkungen, in den Szenarien verlinkt oder integriert werden. Es ist auch das Festhalten von Designalternativen interessant. Auf diese Weise kann nachvollzogen werden, welche Ideen es gegeben hat und aus welchem Grund sie verworfen oder beibehalten wurden.

6. *Speicherung von Metadaten.* Neben den Angaben zu Autor, Erstellungs- oder Änderungsdatum können für einen gezielten Zugriff auf bestimmte Szenarien weitere Informationen gespeichert werden. Dabei ist beispielsweise der Bearbeitungsstatus des Szenarios, seine Wichtigkeit, die Fachrichtung und Hauptaufgabe des zu entwickelnden Systems interessant (siehe Abschnitt 5.1.1).

5.1.1 Konzeption eines Ablaufs für die Erstellung und Verwaltung der Szenarien

Für die Anforderungsverwaltung während des Requirements Engineering Prozesses existieren verschiedene Programme. Diese Programme verwalten Informationen unterschiedlichen Ursprungs (z.B. Texte, Skizzen, Modelle, Kommentare) in einer Datenbank. Die Informationen können über einen integrierten Editor eingegeben oder geändert werden. Zusätzlich werden Attribute zu den Informationen sowie deren Abhängigkeiten und Versionen gespeichert. Diese Systeme ermöglichen unterschiedliche Sichten auf die Informationen. Sie analysieren die Auswirkungen bei Änderungen innerhalb einer Anforderung und generieren Ergebnisdokumente. Es können auch Standard-Büroanwendungen zur Verwaltung der Anforderungen zum Einsatz kommen. Sie sind weit verbreitet und es ist kein zusätzlicher Einarbeitungsaufwand notwendig. Allerdings bieten sie keine Möglichkeiten zur Versionsverwaltung und keine unterstützenden Techniken, wie sie spezialisierte Werkzeuge zur Verfügung stellen [Pohl u. Rupp, 2009].

Das CREWS-Projekt [Maiden u. a., 1999] beschäftigte sich mit der Entwicklung eines Tools zur semiautomatischen Generierung von Szenarien. CREWS-SAVRE leitet den Entwickler systematisch durch das szenariobasierte Requirements Engineering. Die Entwickler werden dabei unterstützt, nützliche Szenarien in einer überschaubaren Menge aus den Use Case Spezifikationen zu produzieren. Im Rahmen des CREWS-Projektes wurde eine komplexe Taxonomie von Fehlern verschiedener Disziplinen erstellt, die aufgrund inkonsistenter und nicht vollständiger Anforderungen entstehen können. Diese Taxonomie dient dazu, Fehler während des Szenarienprozesses systematisch zu identifizieren.

Mit Hilfe spezialisierter Werkzeuge zur Unterstützung des Requirements Engineerings lassen sich auch Szenarien erstellen und verwalten. Allerdings sind diese Werkzeuge sowie das CREWS-SAVRE TOOL sehr komplex und benötigen eine längere Einarbeitungszeit. Außerdem müssen die Werkzeuge installiert werden. Aus diesen Gründen erscheint die Nutzung dieser Softwaresysteme für die Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme, in enger Zusammenarbeit mit Medizinern, eher ungeeignet.

Der Szenarienentwicklungsprozess und die genutzten Werkzeuge sollten, für eine effektive Generierung und Verwaltung der Szenarien, bei der Mitwirkung von Ärzten folgende Eigenschaften aufweisen:

- Keine Installation
- Nutzung vorhandener Software
- Keine oder minimale Einarbeitung
- Beachtung sicherheitstechnischer Aspekte des Kliniknetzwerkes
- Ortsunabhängiger Zugriff
- Einfache Kommentarfunktion

- Übersichtliche Präsentation verfügbarer Szenarien und deren Abhängigkeiten

Für die Umsetzung dieser Bedingungen ist die Erstellung eines durchdachten Workflows notwendig. Die dabei verwendete Software sollte möglichst weit verbreitet und bekannt sein, um einen schnellen Einsatz sicherzustellen und lange Einarbeitungszeiten zu vermeiden. Die Programme müssen folgende Bereiche abdecken:

- Textverarbeitung, zur Erstellung der Szenarientexte, Einbindung von Bildmaterial
- Versionsverwaltung, zur Beherrschung unterschiedlicher Versionen der Szenarien
- Grafische Darstellung, zur Visualisierung der zur Verfügung stehenden Szenarien und ihrer Zusammenhänge
- Internetbrowser, zum ortsunabhängigen Abruf der Szenarien durch die Ärzte

Für den Entwurf der Szenarien bietet sich die Nutzung einer Textverarbeitungssoftware an. Im Gegensatz zu einem reinen Texteditor bietet beispielsweise MICROSOFT WORD den Autoren eine Vielzahl an Vorteilen. Es stehen eine automatische Rechtschreibkontrolle und vielfältige Formatierungsmöglichkeiten zur Verfügung. Um ein einheitliches Layout zu gewährleisten, sollten Formatvorlagen entworfen und genutzt werden. Die Kommentarfunktion des Programms erleichtert die nachvollziehbare Integration von Anmerkungen und Änderungsvorschlägen in die Dokumente. Bilder, Grafiken und Tabellen können eingefügt und Videos verlinkt werden. Lange Szenarien können, beispielsweise durch Aufzählungen oder automatisch erstellte Inhaltsverzeichnisse, strukturiert und damit übersichtlicher gestaltet werden. Die im vorangegangenen Abschnitt vorgeschlagene Vorgehensweise der Nutzung von Haupt- und Kernkomponenten ist auf diese Weise schwer realisierbar. Es könnte bereits im Inhaltsverzeichnis ein Vermerk gemacht werden, ob es sich um einen Haupt- und Kernkomponenten Abschnitt handelt.

Die unterschiedlichen Versionen der Szenarien werden mit Hilfe einer Software zur Versionsverwaltung (z.B. SVN, CVS) auf einem Server abgelegt. Es wird gleichzeitig die Autorenschaft gespeichert. Auf diese Weise wird eine unkomplizierte Arbeit an den Szenarien durch mehrere Autoren ermöglicht.

Für die Visualisierung der Abhängigkeiten der Szenarien kann z.B. MICROSOFT VISIO verwendet werden. Das Programm dient der Visualisierung von Diagrammen, beispielsweise von Ablauf- oder Flussdiagrammen. Dafür steht eine vielfältige Auswahl an vordefinierten Diagrammelementen zur Verfügung. Die Diagramme können als Vektorgrafik gespeichert werden. Im Gegensatz zu anderen Vektorgrafikprogrammen können innerhalb der Grafik andere Dokumente verlinkt und somit aufgerufen oder deren Inhalt direkt in die Grafik eingebunden werden (siehe Abbildung 5.2). Die Aktualisierung des eingebundenen Dokumentes erfolgt bei Änderungen im Originaldokument automatisch. Nach der Fertigstellung der Grafik kann diese als HTML-Datei exportiert werden. Alle Verlinkungen bleiben dabei erhalten. Die HTML-Datei kann auf einer Webseite für die onlinebasierte Übersicht aller Szenarien zur Verfügung gestellt werden. Dieses Vorgehen ist eine einfache Möglichkeit zur ortsunabhängigen Präsentation der Szenarien.

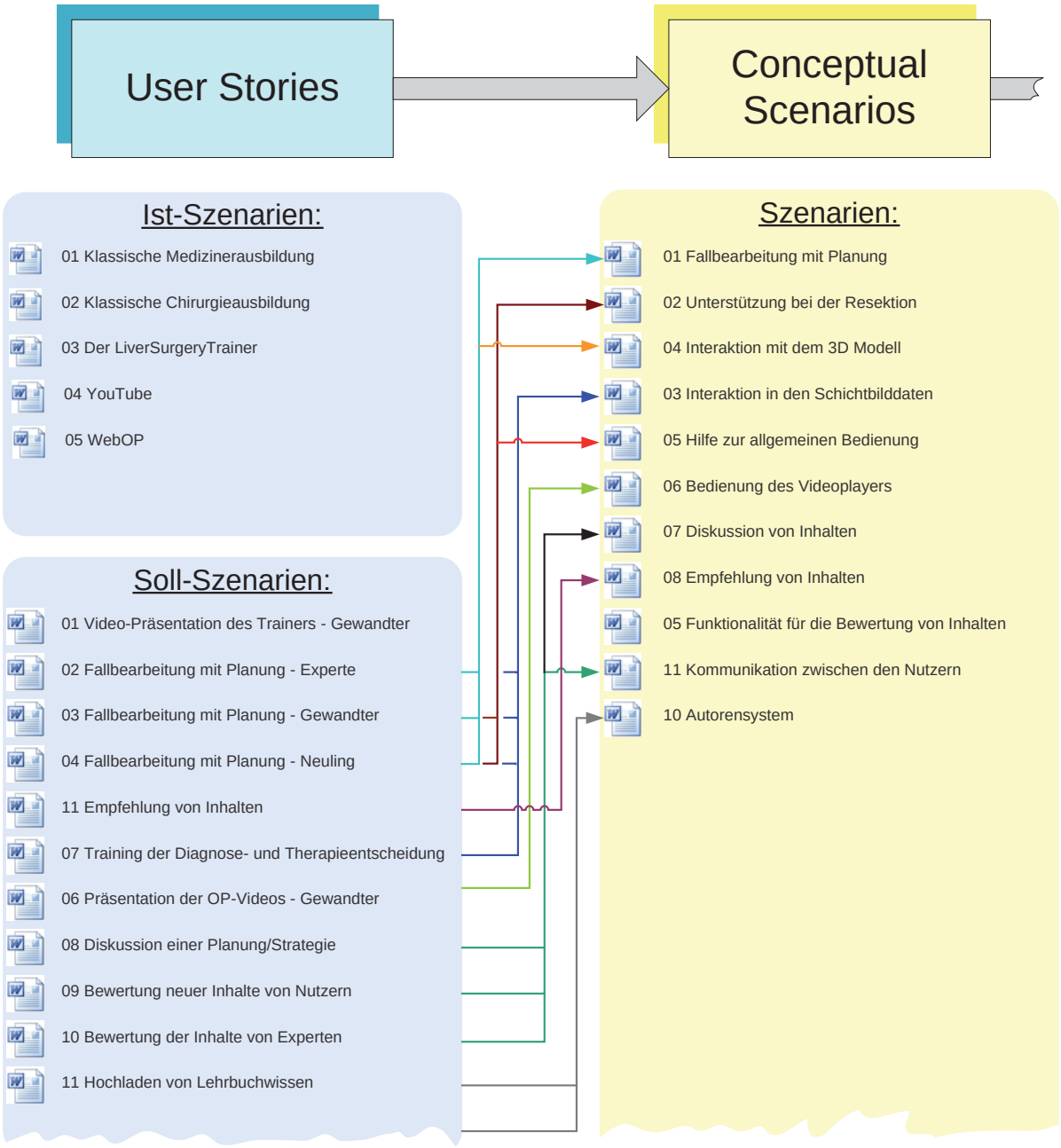


Abbildung 5.2: *Beispiel des Zwischenstandes einer Szenarienübersicht (erstellt mit* MICROSOFT VISIO*), die im Rahmen der Konzeption einer Lernplattform für Chirurgen entstanden ist. Die einzelnen Dokumente sind verlinkt und können direkt aus der Übersicht heraus geöffnet werden.*

Einbindung der Ärzte

Die Einbindung der Ärzte in den Prozess der Szenarienentwicklung kann auf zwei Arten umgesetzt werden. Technisch versierte Ärzte können für die Mitarbeit an den Szenarien alle Möglichkeiten nutzen, die den Entwicklern zur Verfügung stehen. Dafür müssen sie die notwendige Software installieren. Das ist auf den Klinikrechnern häufig nur durch einen Administrator möglich. Außerdem erscheint die Installation der Versionsverwaltungssoftware aus sicherheitstechnischen Gründen im Kliniknetzwerk kritisch. Es bleibt als Alternative für diesen Fall nur die Installation auf einem privaten Rechner des Arztes. Diese Variante wird allerdings nur in Ausnahmefällen zum Einsatz kommen.

Die direkte Mitarbeit der Ärzte an den Szenarien ist dennoch einfach möglich. Das generierte HTML-Dokument der Szenarienübersicht sowie alle dazugehörigen Dokumente werden auf einer Webseite zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung **??**). Die Ärzte bekommen durch die grafische Übersicht auf der Seite einen schnellen Überblick über verfügbare Szenarien und ihre Abhängigkeiten. Die verlinkten Textdokumente können direkt über die Webseite geöffnet werden. Für das Einbringen von Änderungsvorschlägen, Ergänzungen und Kommentaren können sie die Dokumente herunterladen und lokal speichern. Die geänderten Dokumente werden anschließend per E-Mail an die Entwickler zurückgesandt oder über einen Upload auf die Webseite hochgeladen. Die Online-Verwaltung aller Szenarien hat außerdem einen weiteren entscheidenden Vorteil gegenüber dem Austausch aller Szenarien per E-Mail. Es entfällt die Übersendung jeder neuen Version eines Szenarios und der aktualisierten Szenarienübersicht an alle Beteiligten. Das würde zu einer unüberschaubaren Menge an E-Mails führen und bei einer nicht akribisch vorgenommenen Ablage der Dokumente sehr unübersichtlich werden. Die aktuellen Versionen sind für die Ärzte online jederzeit und ortsunabhängig abrufbar. Eine Benachrichtigung der Ärzte bei Änderungen per E-Mail sorgt dafür, dass diese immer über den aktuellen Stand informiert sind. Für diese Art der Mitarbeit an den Szenarien sind auf den Klinikrechnern nur ein Internetbrowser und ein Textverarbeitungsprogramm notwendig. Diese Programme können auch auf Klinikrechnern vorausgesetzt werden.

Weitere Ideen zur Strukturierung

Für eine übersichtliche Arbeit mit den Szenarien ist ein Vermerk zu ihrem Bearbeitungsstatus sinnvoll. Dabei kann zwischen folgenden Stadien eines Szenarios unterschieden werden:

- Erster Entwurf
- Stand nach Diskussion mit Kollegen
- Stand nach Diskussion mit Medizinern
- Stand nach Einarbeitung der Evaluierungsergebnisse
- Verworfen

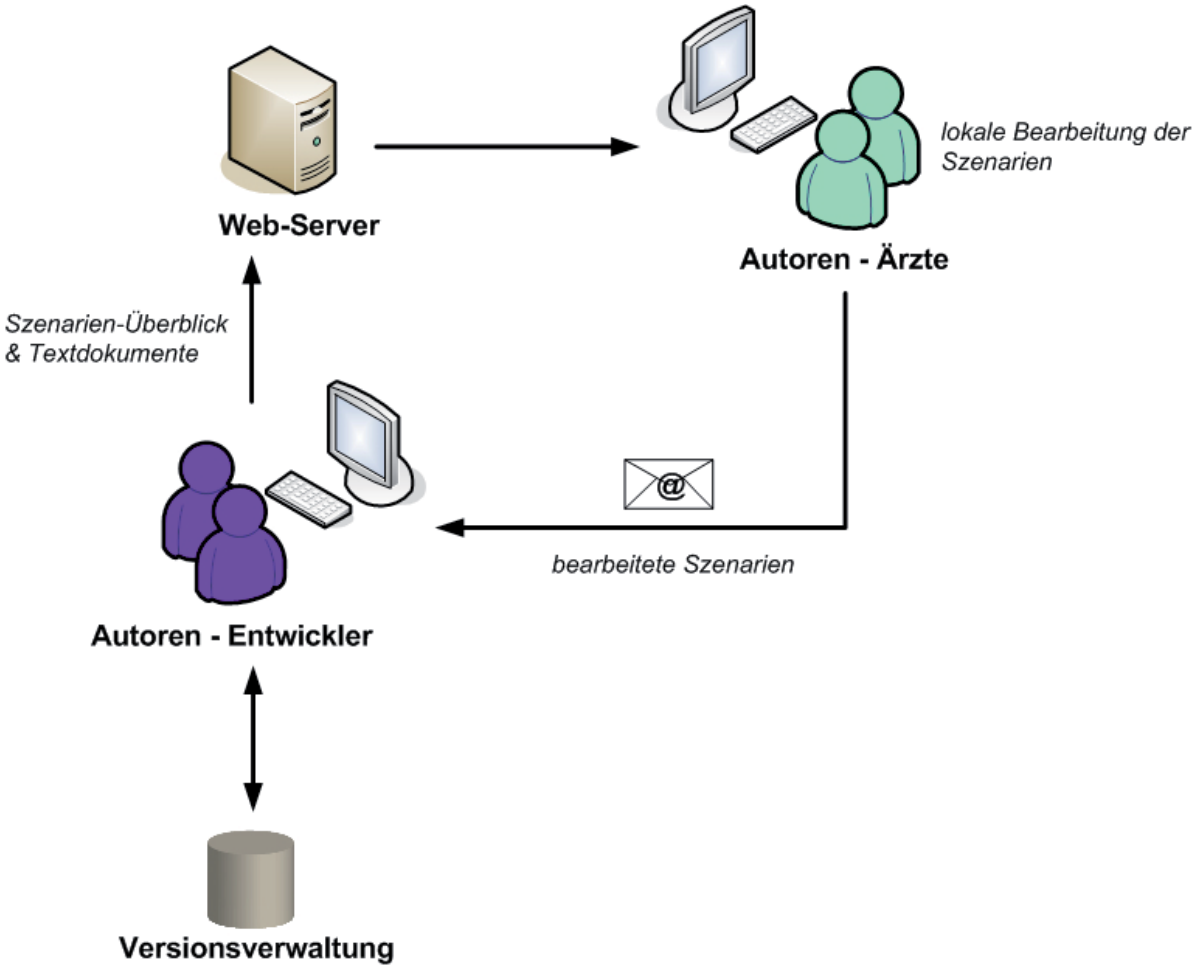


Abbildung 5.3: *Die Szenarienerstellung und -bearbeitung durch Entwickler und Ärzte. Es werden verschiedene Programme zu einem sinnvollen Workflow kombiniert.*

Die Einteilung in diese Stadien kann in den meisten Fällen als sequenziell angesehen werden. Ein Szenario mit dem Vermerk „Stand nach Diskussion mit Medizinern“ sollte vorher mit den Kollegen besprochen worden sein. Der Status des Szenarios sollte neben den Angaben zu den Autoren und dem Erstellungsdatum im Kopf hinterlegt sein. Da der Status so nur beim Öffnen des Dokumentes erkennbar ist, ist es empfehlenswert, ihn noch an anderer Stelle sichtbar zu machen. Eine disziplinierte Benennung der Textdokumente, die in vordefinierter Weise den Titel und den Status beinhaltet, ist eine Möglichkeit.

Die projektübergreifende Nutzung von Szenarien kann durch die Vergabe von Schlagworten erleichtert werden. Zu Beginn eines neuen Projektes können die Szenarien ähnlicher Systeme gezielt durchsucht und als Grundlage für die Arbeit genutzt werden. Auf diese Weise profitieren die Entwickler von bereits existierenden Szenarien. Die existierenden Szenarien geben inhaltliche und strukturelle Anregungen für neue Projekte. Die Einteilung kann nach medizinischer Fachrichtung, z.B. Orthopädie, Radiologie, Chirurgie, sowie nach der Hauptaufgabe des zu entwickelnden Systems, z.B. Diagnose, Therapieplanung (chirurgische und interventionel-

le Eingriffe), Lernen/Training und Dokumentation, vorgenommen werden. Diese Metadaten der Szenarien können bei der Erstellung der Szenarientexte mit einem Textverarbeitungsprogramm für jede Datei gespeichert werden. In den Dokumenteneigenschaften können der Status (wie oben beschrieben), eine Kategorie (medizinische Fachrichtung) sowie Schlüsselwörter definiert werden. Diese Dokumenteneigenschaften können durchsucht werden.

5.2 Empfehlungen für die Nutzung von Szenarien

Ideal ist eine Vorgehensweise, bei der die chirurgischen Experten und die zukünftigen Nutzer des Systems die Szenarien erstellen. Sie kennen sich mit dem medizinischen Hintergrund und den Anforderungen der zukünftigen Nutzergruppe, ihren Eigenschaften und Wünschen am besten aus. Allerdings ist dieser Ansatz, aufgrund der Eingebundenheit der Ärzte in den klinischen Alltag, in den meisten Fällen nicht realisierbar. Außerdem ist auch ein gewisses Maß an Erfahrung notwendig, um Szenarien als Autor zu erstellen. Deshalb sollten von den Entwicklern bzw. UI-Designern jeweils erste Vorschläge für Szenarien gemacht werden, die als Diskussionsgrundlage dienen.

Für die Konzeption chirurgischer Trainingssysteme sollten verschiedene Ist- und Soll-Szenarien entwickelt werden, die alle Bereiche des Trainings abdecken. In den Soll-Szenarien sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Fallauswahl (z.B. Wahl eines einzelnen Falls, Zusammenstellung einer Liste mit mehreren zu trainierenden Fällen, zufällige Auswahl)
- Einfache und komplexe Fälle der verschiedenen Therapievarianten (z.B. Leber - Resektion, Ablation; Wirbelsäule - Injektion, Physiotherapie, Versteifung, Resektion)
- Integration von Fallvarianten
- Diagnosestellung (z.B. Anamnese, Untersuchungen, Medizinische Bilddaten)
- Therapieentscheidungen (z.B. Auf welcher Basis werden welche Entscheidungen getroffen? Wer ist daran beteiligt? Wie sollen die Informationen präsentiert werden?)
- Analyse des Trainingsergebnisses (z.B. visueller und textueller Vergleich, qualitative Bewertung in Punkten/Prozenten, Expertenkommentare)
- Präsentation von Informationen zum realen OP- und Post-OP-Verlauf (z.B. OP-Bericht, Laborbefunde, kommentierte Fotos, Videos)
- Allgemeine Interaktionsmöglichkeiten mit den medizinischen Bilddaten und 3D-Visualisierungen (z.B. Blättern, Rotation, Zoomen, Selektion)
- Benutzerdefinierte Einstellungen (z.B. Wahl des Hilfemodus, Favorit der Experten, Standardansichten bzw. -parameter der Visualisierung)
- Inhalte der verschiedenen Hilfemodi/ Expertenunterstützung

Es ist nicht notwendig, für alle Funktionalitäten Szenarien zu erstellen. Die Kernfunktionalität sollte beschrieben werden. Für offensichtliche und bekannte Aspekte (z.B. das Anmelden mit Benutzername und Passwort, das Aufrufen einer Webseite) ist das nicht notwendig. In den Szenarien sollte auf die Nutzer und ihre unterschiedlichen Kenntnisse und Vorerfahrungen, z.B. operative Erfahrung, PC-Kenntnisse, Vertrautheit mit 3D-Modellen und -Interaktion sowie Hardwareanforderungen eingegangen werden.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit sollten visuelle Komponenten in die Szenarien integriert werden. Durch die Verwendung von StoryBoards, Screenshots oder Beispielbildern in den Szenarien können deren Inhalte anschaulicher gestaltet werden.

Szenarien sind eine sehr gute Grundlage für die Erstellung des Handbuchs eines Softwaresystems. Die Voraussetzung dafür ist eine gute Verwaltung der Szenarien, ihrer Versionen und getroffenen Designentscheidungen. Die Speicherung der Szenarien ohne Redundanzen und die Zuordnung von Bemerkungen und Bildmaterial erleichtert zusätzlich die Erstellung eines gut verständlichen und strukturierten Handbuchs.

5.2.1 User Stories

Vor der Erstellung der User Stories ist eine ausführliche Auseinandersetzung mit dem medizinischen Themengebiet notwendig.

Von den Entwicklern sollten, basierend auf Gesprächen mit chirurgischen Experten, erste User Stories entworfen werden. Diese User Stories sollten die Anwendergruppe charakterisieren und die klinischen Vorgehensweisen widerspiegeln (Ist-Szenarien, siehe Beispiel Aneurysma-Befundung). Sie dienen zur gemeinsamen Diskussion von Entwicklern, chirurgischen Experten und zukünftigen Anwendern über die Lernziele und den möglichen Grundaufbau des Trainingssystems (Soll-Szenarien). Die Menge an notwendigen bzw. wünschenswerten Trainingsfällen und die für jeden Fall notwendigen Informationen und Daten können bestimmt werden.

Beispiel - Ist-Szenario „Aneurysma-Befundung“ (Autor: Dr. Oliver Beuing, Rocco Gasteiger, Jeanette Mönch)

Frau Müller verspürt am späten Abend des 01.01.2010 einen akuten, sehr starken Kopfschmerz und lässt sich daraufhin in ein Krankenhaus einliefern. Dort wird sofort eine CT-Aufnahme ihres Kopfes gemacht, anhand derer die Diagnose einer SAB (Subarachnoidalblutung) gestellt wird. Der Neuroradiologe lässt deshalb bei der gleichen Untersuchung eine CTA sowie 3DRA-Aufnahme anfertigen. Die Aufnahmen schaut er sich zunächst an für Aneurysmen typischen Stellen an und dehnt seine Suche anschließend aus. Für die Befundung exploriert er die Daten in den 3 Ansichten: axial, coronal und sagittal. Er findet in den Aufnahmen zwei Aneurysmen. Außerdem zeigt sich, dass die SAB durch die Ruptur eines Aneurysmas verursacht wurde, der Rupturriß sich jedoch durch Thrombosierung verschlossen hat. Der Neuroradiologe klärt die Patientin über das erhöhte Rupturrisiko, die damit verbunden Konsequenzen aber auch Behandlungsmöglichkeiten und -risiken auf. Obwohl es sich bei beiden Aneurysmen um kleine Aneurysmen handelt, empfiehlt er ihr das bereits ruptierte sofort behandeln zu lassen. Frau Müller stimmt dem Eingriff zu. Die Behandlung soll dabei am nächsten Morgen durch einen endovaskulären Eingriff mittels Katheter und dem Ausfüllen des Aneurysmas durch Coils erfolgen. Die Behandlung des zweiten, noch nicht ruptierten, Aneurysmas soll zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

Um sicherzugehen, dass das Aneurysma endovaskulär behandelt werden kann, exploriert der Neuroradiologe das Aneurysma näher. Dazu lädt er sich auf seine Befundungsworkstation die Bilddaten (CT, DSA, 3DRA) von Frau Müller ein und betrachtet die CTA-Schichtdaten zunächst axial. Er scrollt zu den Schichten, in denen das Aneurysma zu sehen ist und hat parallel dazu die Möglichkeit durch MPR (Multiplanare Reformatierung) weitere Projektionen des Aneurysmas im Schichtdatensatz zu betrachten. Von Interesse für seine Befundung sind die Breite des Aneurysmenhalses/Osteums (Breite des Wanddefektes), verschiedene Durchmesser des Aneurysmensackes, anatomische Variationen des Aneurysmas sowie die zu- und abführenden Gefäßabschnitte am Aneurysma. Um diese Kriterien besser abzuschätzen, zoomt er in den Bereich des Aneurysmas, variiert den Kontrast und fasst mehrere Schichten durch Slabbing zusammen. Für die Vermes-

sung benutzt er ein Linealwerkzeug seiner Befundungssoftware und vermisst die Halsbreite sowie die beiden größten Durchmesser des Aneurysmensackes. Zur Sicherheit überprüft er die anatomischen Gegebenheiten am Aneurysma zusätzlich durch die Betrachtung der DSA-Bilddaten sowie einer 3D-Volumendarstellung auf Basis der 3DRA-Aufnahmen. Die DSA-Aufnahmen sind für ihn von Interesse, da diese die späteren Arbeitsprojektionen während des endovaskulären Eingriffes darstellen. Durch die 3D-Visualisierung kann bereits vor dem Eingriff eine gute Ausrichtung des C-Armes definiert werden, so dass wenig Verdeckungen und Überlagerungen durch andere Gefäße verursacht werden. Außerdem hilft es ihm besser abzuschätzen, ob durch die Coils evtl. abgehende Gefäßäste verschlossen werden. Nach ca. 5 Minuten ist die Befundung abgeschlossen. Neben der Lage der Aneurysmen und den Patientensymptomen werden nur vereinzelte Vermessungsinformationen, wie z.B. der größte Durchmesser des Aneurysmas, schriftlich festgehalten. Bildinformationen, wie z.B. Screenshots der Schichtdaten oder 3D-Darstellungen sowie die Anzahl der zu verwendenden Coils fließen in den Befundbericht nicht mit ein.

Der Befund ergab, dass es sich um ein Aneurysma mit schmalen Hals und einem relativ breiten Aneurysmasack handelt. Diese Ausprägung ist günstig für den Einsatz von Coils, da hierbei das Risiko einer Dislokation des Coils in das Gefäß gering ist. Die endovaskuläre Behandlung ist somit möglich. Keine Auskunft kann der Arzt jedoch darüber treffen, ob er mit dem Katheter an das Aneurysma herankommt (aufgrund fehlender Bilddaten der entsprechenden Körperregionen). Ebenso wenig kann er hier schon entscheiden, ob nicht doch ein Stent als Widerlager für die Coils vor dem Aneurysmenhals platziert werden muss, damit sie nicht aus dem Aneurysma herausfallen. Diese Entscheidungen können erst während des Eingriffes getroffen werden.

Während und kurz nach dem Eingriff werden Kontrollaufnahmen für die Katheterführung, die Platzierung der Coils sowie als Auskunft über die Thrombosierung im Aneurysma gemacht. Ebenso kann dabei kontrolliert werden, ob sich ein Thrombus vom Aneurysma gelöst hat und dabei evtl. andere Gefäßabschnitte verschließt. Routinemäßig werden diese Kontrolluntersuchungen bei der Patientin nach 6 Monaten wiederholt.

Folgende Fragen sollten die User Stories (Soll-Szenarien) für den Aspekt der Diagnosestellung beantworten:

- Wie ist der klinische Ablauf zur Stellung einer Diagnose?
- Welche Untersuchungen werden in welcher Reihenfolge durchgeführt?

- Von wem werden die Untersuchungen durchgeführt?
- Wer erstellt die Diagnose?
- Wie wird die Diagnose dokumentiert?
- Welche Überlegungen werden dabei vom Arzt gemacht? Existieren Leitlinien bzw. Richtlinien?

5.2.2 Conceptual Scenarios

Durch Abstraktion und Zusammenfassung der User Stories (Soll-Szenarien) entstehen im nächsten Schritt Conceptual Scenarios. Sie beinhalten Informationen über allgemeine Anforderungen (z.B. allgemeine Aussagen zur Nutzerverwaltung, Hilfesystem, Lernerfolgsbewertung), den Ablauf des Trainings und die Trainingsschritte sowie erste Designvorschläge. Die neuen Conceptual Scenarios sollten ebenfalls wieder mit allen Beteiligten diskutiert, überarbeitet und verfeinert werden. Folgende Fragen sollten die Conceptual Scenarios für den Aspekt der Diagnosestellung beantworten:

- Wie wird der klinische Ablauf bei der Stellung einer Diagnose im System umgesetzt?
- Welche einzelnen Teilschritte sind notwendig? Welche Möglichkeiten gibt es?
- Stehen die Untersuchungsergebnisse direkt zur Verfügung oder muss der Nutzer erst Ergebnisse anfordern?
- Liegen die Untersuchungen als Bilder bzw. Videos oder als frei explorierbare Schichtbilddaten vor?
- Wie werden die Untersuchungsergebnisse den Nutzern präsentiert? Welche Interaktionen sind notwendig, um die Ergebnisse zu explorieren?
- Wie trifft der Nutzer die Diagnose?
- Welche Unterstützung bekommt der Nutzer für die Diagnosestellung vom System? Gibt es unterschiedlich detaillierte Hilfestellungen?

5.2.3 Concrete Scenarios

Für alle Komponenten des Systems, die einzelnen Teilschritte des Trainings bzw. der Interaktionen, werden Concrete Scenarios erstellt. Sie beschreiben beispielsweise jeweils für einen speziellen Trainingsschritt alle vorhandenen Bedienelemente, Funktionen und die durch den Benutzer notwendigen Interaktionen zur Erfüllung der Aufgabe. Die Gespräche über die Concrete Scenarios mit Chirurgen und Entwicklern sollten dazu dienen, schon vor der Umsetzung der Designvorschläge mögliche Schwierigkeiten innerhalb der in den Szenarien beschriebenen Abläufe aufzudecken. Auf Basis der Conceptual Scenarios werden die Designideen erstmals

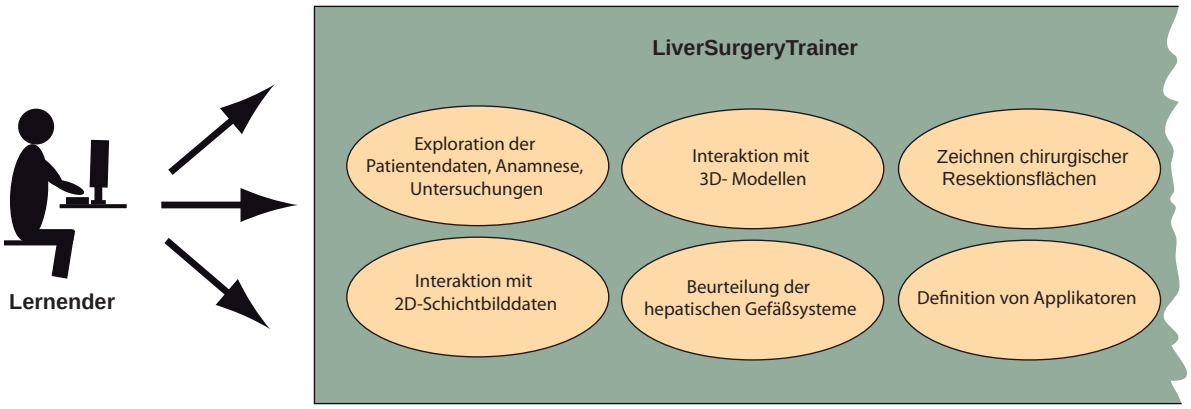


Abbildung 5.4: *Ausschnitt aus der Übersicht der Use Cases des* LIVERSURGERYTRAINERS.

prototypisch umgesetzt. Folgende Fragen sollten die Concrete Scenarios für den Aspekt der Diagnosestellung beantworten:

- Wie kann der Nutzer durch die einzelnen Teilschritte navigieren? Welche Bedienelemente stehen dafür zu Verfügung?
- Mit welchen Interaktionstechniken können die vorliegenden Daten exploriert werden? Welche Bedienelemente werden dafür benötigt, welche Interaktionen muss der Nutzer ausführen?
- Wie definiert der Nutzer die Diagnose (z.B. durch freie Texteingabe, Auswahl aus Alternativen)?
- Wie kann der Nutzer Unterstützung anfordern? Wie wählt er die gewünschte Hilfestufe aus?

5.2.4 Use Cases

Abschließend werden aus den Conceptual Scenarios Use Cases generiert. Sie enthalten alle möglichen Interaktionen zwischen dem Benutzer und dem System und berücksichtigen dabei ebenfalls leicht variierende Umstände. Die Use Cases werden auch genutzt, um den Prototyp im Rahmen einer formativen oder summativen Evaluierung zu testen und zu verbessern. Abbildung 5.4 und 5.5 zeigen Use Case Beispiele aus der Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINERS. Die Übersicht enthält alle Anwendungsfälle des LIVERSURGERYTRAINERS, die jeweils genauer spezifiziert wurden.

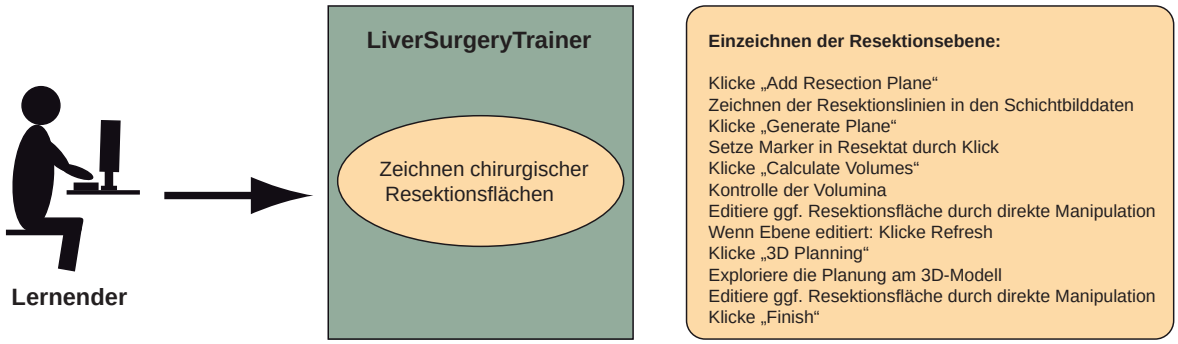


Abbildung 5.5: *Use Case des* LIVERSURGERYTRAINERS *für das Zeichnen der Resektionsfläche bei der virtuellen Operationsplanung. Es werden alle dafür notwendigen Schritte spezifiziert.*

5.3 Zusammenfassung und Diskussion

Für eine benutzerzentrierte Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme ist ein szenariobasiertes Design, mit der Einteilung der Szenarien in vier Typen (Use Cases, Conceptual Scenarios, Concrete Scenarios, Use Cases) nach Benyon u. a. [2005], hilfreich. Szenarien erleichtern unter anderem das Design der Trainingsschritte und die Auswahl und Beschreibung der Trainingsfälle. Sie müssen für eine sinnvolle Unterstützung des Entwicklungsprozesses effizient verwaltet werden. Dazu ist es wichtig, Redundanzen in den Szenarien zu minimieren, Abhängigkeiten zwischen einzelnen Szenarien deutlich zu machen und Änderungen und Anmerkungen zu verwalten. Die Verknüpfung der Szenarien mit visuellen Komponenten ist bei chirurgischen Systemen von großer Bedeutung. Es ist wichtig, ein intuitives und effektives Werkzeug für die Verwaltung der Szenarien zu nutzen, um den gesamten Entwicklungsprozess bestmöglich zu unterstützen. Als Vorbild dienen dabei Systeme des Projektmanagements in der Softwareentwicklung, die Versionen und Testergebnisse dokumentieren und so den Entwicklungsprozess transparent gestalten.

In diesem Kapitel wurde ein Workflow vorgestellt, der es den Ärzten ermöglicht, im Szenarienerstellungsprozess aktiv mitzuarbeiten. Dafür müssen eine Reihe von Bedingungen beachtet werden. Die wichtigsten Aspekte dabei sind die Verfügbarkeit der verwendeten Programme auf den Klinikrechnern, die Vertrautheit mit diesen Programmen und die ortsunabhängige Arbeit an den Szenarien. Der vorgeschlagene Ablauf kombiniert Software für die Textverarbeitung, für die Visualisierung, die Versionsverwaltung, einen Internetbrowser und ggf. einen Emailclient.

6 Der LIVERSURGERYTRAINER - Ein Trainingssystem für Viszeralchirurgen

Dieses Kapitel beschreibt die Konzeption, Umsetzung und Evaluierung des LIVERSURGERYTRAINERS, eines Trainingssystems für die präoperative computergestützte Operationsplanung. Der Schwerpunkt der Beschreibungen liegt auf den didaktischen Aspekten der Konzeption und auf der Nutzung der szenariobasierten Vorgehensweise für die Entwicklung [Cordes u. a., 2006].

Nach einer Einführung in die anatomischen Grundlagen der Leber und der Leberchirurgie werden die Systeme zur computergestützten Planung von Eingriffen sowie existierende Trainingssysteme dieses Bereichs analysiert. Im Anschluss wird auf ausgewählte Aspekte der Konzeption eingegangen. Die Analyse der Ausgangbedingungen wird ausführlich beschrieben. Es wird die szenariobasierte Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINERS erläutert, die Trainingsschritte werden erklärt und die Umsetzung des didaktischen Modells deutlich gemacht. Die Beschreibung der in den verschiedenen Stadien der Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINERS durchgeführten Evaluierungen und ihre Ergebnisse runden dieses Kapitel ab.

Der LIVERSURGERYTRAINER basiert auf Vorarbeiten von Mirschel [2004] und Bade [2008]. Er ist in Zusammenarbeit mit Mühler [2010] entstanden.

6.1 Medizinischer Hintergrund

Die Leber ist die größte Drüse des menschlichen Körpers und für den Stoffwechsel verantwortlich. Sie wiegt zwischen 1200 und 1800 Gramm [Oldhafer u. a., 2006], befindet sich im rechten Oberbauch und ist mit der Unterseite des Zwerchfells verwachsen. Deshalb wird ihre Lage stark durch die Atembewegungen beeinflusst. An der Unterseite der Leber liegt die Gallenblase. Die Leber wird von einer bindegewebsartigen Kapsel umschlossen, die gemeinsam mit den Leitungsbahnen in die Leber eindringt. Sie lässt sich in der Ansicht von vorn (ventral) in zwei Leberlappen unterteilen, den linken Leberlappen (Lobus hepatis sinister) und den rechten Leberlappen (Lobus hepatis dexter). Beide Lappen werden durch eine Bauchfellfalte, das Ligamentum falciforme hepatis, getrennt. Bei der Betrachtung der Unterseite der Leber kann eine weitere Einteilung in vier Lappen vorgenommen werden. Die Leber wird durch vier unterschiedliche Gefäßsysteme ver- und entsorgt. Die *Portalvene* (Vena portae hepatis) und

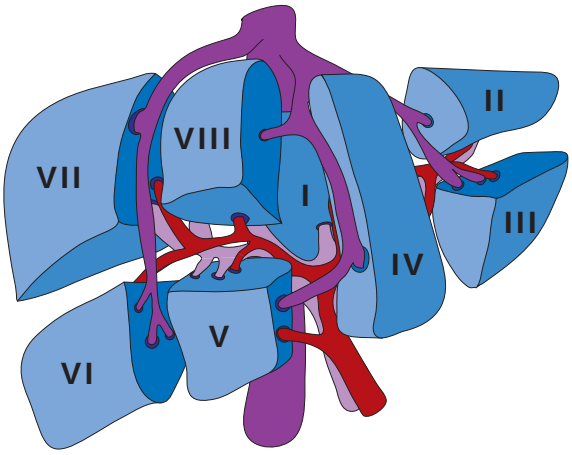


Abbildung 6.1: *Die Segmenteinteilung der Leber (I-VIII) nach Couinaud [Mühler, 2010].*

die *Leberarterie* (Arteria hepatica propria) dringen von unten in die Leber ein und versorgen sie mit Blut. Die Ausgänge der *Gallengänge* (Ductus hepaticus) befinden sich ebenfalls kaudal. Sie führen die Gallenflüssigkeit aus der Leber ab. Für die Ableitung des Blutes aus der Leber ist die *Lebervene* (Vena hepaticae) verantwortlich. Eine für die Leberchirurgie relevante Einteilung der Leber in acht Segmente wurde von Claude Couinaud vorgeschlagen (siehe Abbildung 6.1). Die versorgten Territorien werden durch Portalvenenäste dritter Ordnung bestimmt [Schünke u. a., 2005a]. Es existieren noch weitere Modelle zur Segmenteinteilung der Leber. Die Einteilung nach Couinaud hat sich allerdings für die Kommunikation zwischen Radiologen und Chirurgen durchgesetzt. Vor allem die Leberarterie kann eine Reihe von Variationen aufweisen. Die anatomischen Variationen sind so vielfältig, dass es für eine Operationsplanung wichtig ist, die individuellen Segmente zu identifizieren [Preim u. Bartz, 2007].

6.1.1 Lebertumore

Krebserkrankungen waren 2007, nach Herz-Kreislauferkrankungen, die zweit häufigste Todesursache für beide Geschlechter in Deutschland (29,0% für Männer und 22,6% für Frauen). Krebserkrankungen der Leber stehen bei Männern an sechster Stelle der Krebstodesursachen und bei Frauen an dreizehnter Stelle [Krebsforschungszentrum, 2009].

Für die interventionelle Behandlung von Leberkarzinomen und -metastasen existiert eine Vielzahl von Möglichkeiten. Dazu gehören konventionelle Operationen, Tumorablationen, laparoskopische Eingriffe (Operation durch einen kleinen Schnitt in der Bauchdecke) sowie Kombinationseingriffe.

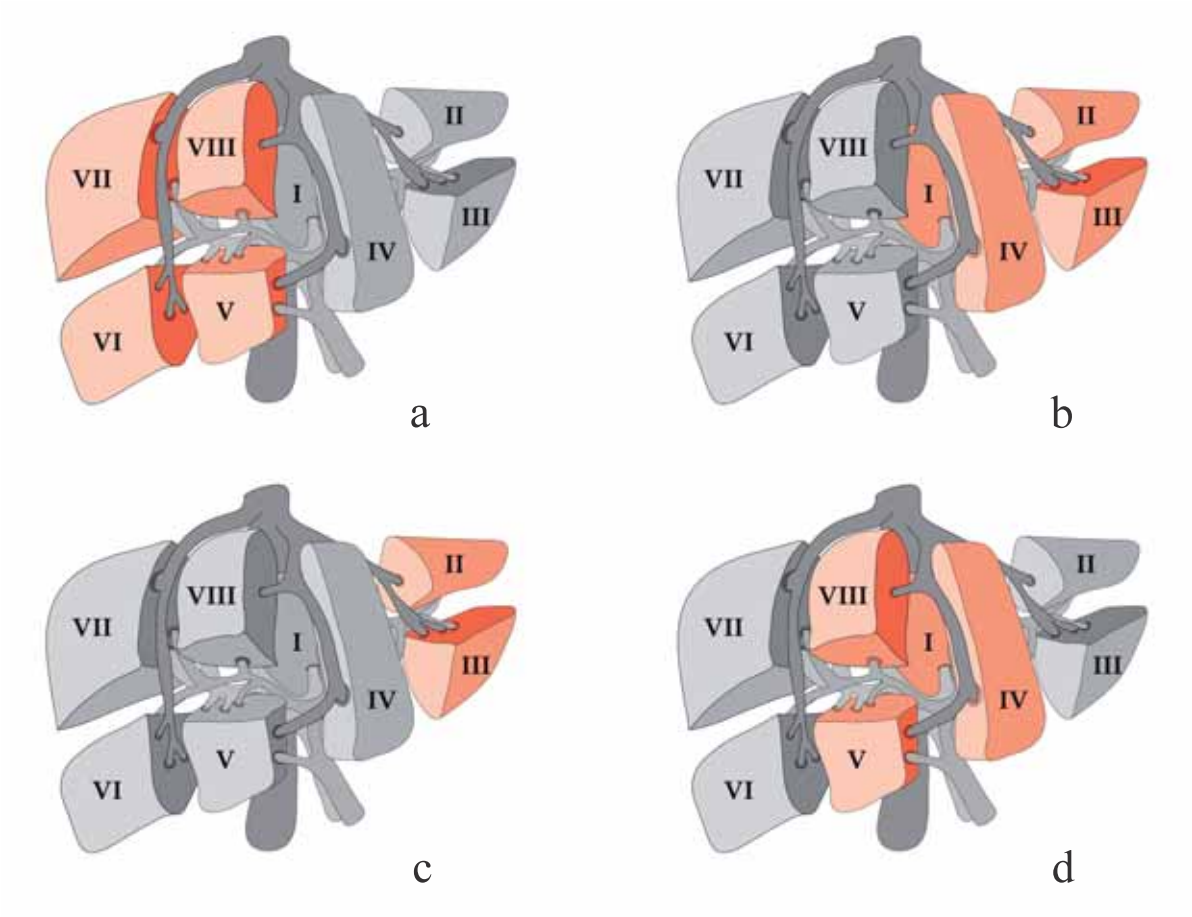


Abbildung 6.2: *Klassifikation anatomischer Leberresektionen: a - Hemihepatektomie rechts, b - Hemihepatektomie links, c - Linkslaterale Resektion, d - Zentrale Leberresektion [Mühler, 2010].*

Resektion von Lebertumoren

Sowohl benigne (Leberzysten, Leberhämangiome, Leberadenom, Fokal noduläre Hyperplasie) als auch maligne Tumore der Leber (Hepatozelluläres Karzinom, Cholangiozelluläres Karzinom) und Lebermetastasen anderer Primärtumore (häufig kolorektale Metastasen) werden bevorzugt mit einer Resektion des befallenen Lebergewebes therapiert [Oldhafer u. Stavrou, 2009]. Zu den Operationen zählen standardisierte Eingriffe, wie die Entfernung von Leberhälften, Leberlappen und -segmenten (anatomische Resektionen, siehe Abbildung 6.2) sowie spezielle Eingriffe, bei denen ausgehend von einem Tumor und einem angestrebten Sicherheitsrand um den Tumor ein Resektionsgebiet definiert wird (nicht-anatomische Resektion).

Das Ziel einer Tumorresektion ist die Entfernung des gesamten vom Tumor befallenen Gewebes, einschließlich eines tumorfreien Randes (idealerweise 1cm), bei Erhaltung eines maximalen Volumens von gesundem Gewebe. Die Angaben für das minimal notwendige Restvo-

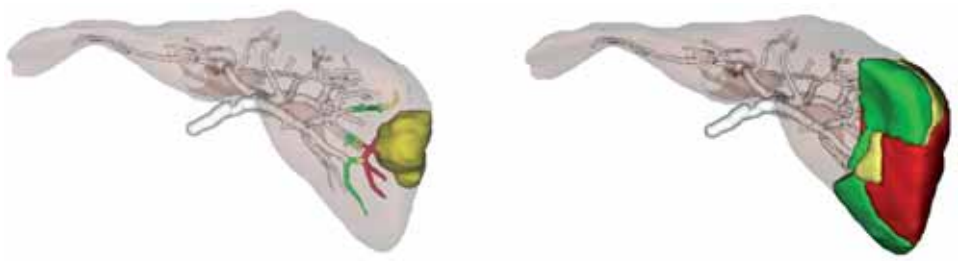


Abbildung 6.3: *3D-Modell der Leber mit einem Tumor und der Portalvene.* Links *sind die Gefäße in Abhängigkeit von ihrer Entfernung zum Tumor eingefärbt. Die roten Gefäßabschnitte würden bei einem Sicherheitsrand von 2 mm, die gelben bei 5 mm und die grünen bei 10 mm abgetrennt werden.* Rechts *ist das Leberparenchym eingefärbt, welches beim Durchtrennen der Gefäße nicht mehr mit Blut versorgt werden würde. Diese Gebiete müssen bei der Resektion ebenfalls komplett entfernt werden.*

lumen variieren bei gesundem Gewebe von 25-40% des Gesamtlebervolumens. Ist die Leber beispielsweise durch eine Zirrhose geschädigt, ist mehr verbleibendes Leberparenchym notwendig, um eine ausreichende Funktionalität sicherzustellen. Bei der Entfernung des Tumors werden immer Gefäße durchtrennt. Gewebeabschnitte, die im Patienten verbleiben und deren Versorgung oder Entsorgung durch die Resektion beeinträchtig sind, werden als Risikogebiete bezeichnet (siehe Abbildung 6.3). Die Berechnung dieser gefährdeten Bereiche und damit die Entscheidung für oder gegen einen operativen Eingriff ist der Hauptbestandteil der computergestützten Operationsplanung [Schenk u. a., 2008]. Eine Herausforderung bei der Planung und Durchführung einer Resektion stellt die große anatomische Vielfalt der Lagebeziehungen und krankhaften Veränderungen der Leber dar. Auf die derzeit verfügbaren Planungssysteme wird in Abschnitt 6.2 eingegangen.

Ablation von Lebertumoren

Bei nicht operablen Patienten, nicht resektablen Lebertumoren oder Metastasen wird als lebensverlängernde Maßnahme die Zerstörung des Tumorgewebes, beispielsweise durch Einbringen von Hitze in den Tumor, mit Hilfe nadelartiger Sonden (Applikatoren), vorgenommen (siehe Abbildung 6.4). Thermoablativen Verfahren verwenden Radiofrequenz, Laser- oder Mikrowellenstrahlung, um das Tumorgewebe zu zerstören. Bei chemoablativen Verfahren werden beispielsweise Ethanol oder andere chemische Substanzen und bei radioablativen Verfahren Iridium-Strahlenquellen in den Tumor injiziert, die eine Gewebedestruktion bewirken sollen [Helmberger u. a., 2005]. Beim Einbringen der Applikatoren in den Körper dürfen keine anderen Organe verletzt werden. Deshalb ist im Vorfeld eine Planung notwendig, die den Zugangsweg, die optimale Platzierung der Applikatorspitze im Tumor und die Dauer der Strahlung oder die Menge der zu injizierenden Substanzen bestimmt. Die Gefäße in unmittelbarer Umgebung des Tumors spielen bei der Ablation und ihrer Planung ebenfalls eine große Rolle. Sie besitzen einen kühlenden Effekt und haben deshalb bei einer Thermoablation einen Einfluss auf die Dauer der Bestrahlung [Welp u. a., 2006].

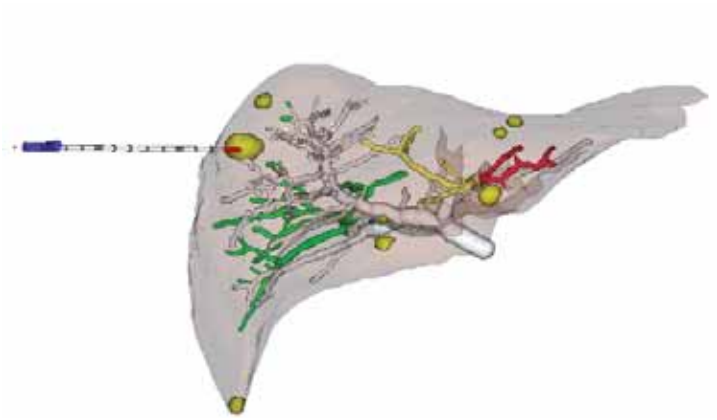


Abbildung 6.4: *Dreidimensionales Modell der Leber mit Metastasen und der Portalvene. Der Applikator wird unter radiologischer Kontrolle durch die Haut hindurch in der Metastase platziert, die zerstört werden soll. Anschließend werden, je nach Applikatortyp, beispielsweise Hitze oder chemische Substanzen injiziert.*

Kombinierte Therapie

Es werden auch kombinierte Therapien mit Ablation und Resektion durchgeführt. Sie kommen beispielsweise dann zum Einsatz, wenn eine Leberteilresektion mit mehr als drei Segmenten notwendig ist und sich außerdem im anderen Leberlappen eine Metastase an einer zentralen Stelle befindet. In diesem Fall können nicht alle Leberherde durch eine oder mehrere Resektionen entfernt und ausreichend Lebergewebe erhalten werden. Deshalb wird die zentral gelegene Metastase mit Hilfe einer Ablation zerstört [Klar u. a., 2003].

6.1.2 Leberlebendspende

Aufgrund des Mangels an Organen hirntoter Spender für die Lebertransplantation wurde in den letzten Jahren die Leberlebendspende etabliert [Walter u. a., 2008]. Dabei wird dem Spender ein Teil der Leber entnommen und dem Empfänger sofort transplantiert. Je nach Verhältnis des Körpergewichts von Spender und Empfänger wird bei der Leberlebendspende dem Spender das linkslaterale Segment der Leber, der linke Leberlappen oder der rechte Leberlappen entnommen und dem Empfänger implantiert. Handelt es sich beim Empfänger um ein Kind, wird in den meisten Fällen der linkslaterale Lappen transplantiert. Bei der Leberlebendspende für einen Erwachsenen variieren die dem Spender entnommenen Segmente stark [Broelsch u. a., 2003]. Es muss entschieden werden, ob die mittlere Lebervene und die Vena Cava beim Spender verbleiben oder für den Empfänger mit entnommen werden. In der Literatur sind auch Vorgehensweisen zu finden, bei denen diese Gefäße geteilt werden [Gundlach u. a., 2000; Broering u. a., 2005]. 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

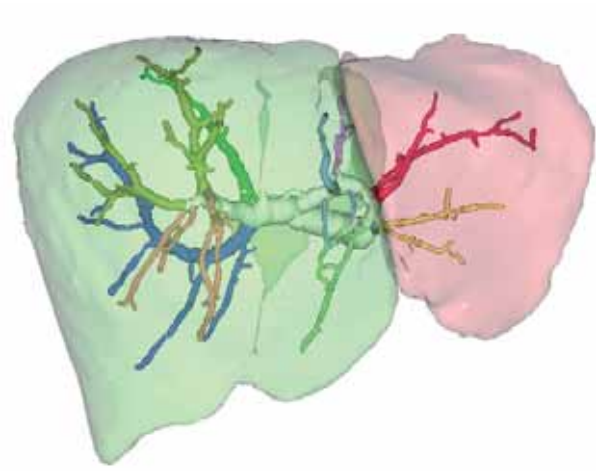


Abbildung 6.5: *3D-Modell der computergestützten Planung einer Leberlebendspende für ein Kind. Der grün eingefärbte Teil der Leber verbleibt im Spender, der rot gefärbte Teil wird dem Empfänger transplantiert. Anhand dieser Darstellung wird beurteilt, ob die Portalvene an einer vertretbaren Stelle durchtrennt wird.*

der Planung die Volumenverteilung und Anatomie der Lebervenen im Vordergrund. Aufgrund der strengen Auswahlkriterien kann nur ein geringer Anteil der potentiellen Spender alle Untersuchungen erfolgreich abschließen, so dass eine Lebendspende realisiert werden kann. Außerdem haben anatomische Variationen einen Einfluss auf die Durchführbarkeit einer Spende [Erbay u. a., 2003]. Auch für die Leberlebendspende werden computergestützte Operationsplanungssysteme erfolgreich eingesetzt [Frericks u. a., 2004; Meinzer u. a., 2004; Radtke u. a., 2006].

6.2 Computerunterstützung für Planung und Training

In diesem Abschnitt wird auf den aktuellen Stand der Technik für die Durchführung der Planung leberchirurgischer Eingriffe eingegangen. Anschließend werden Lernsysteme und Projekte beschrieben, die sich ebenfalls mit der Vermittlung von Anatomie oder Vorgehensweisen im Rahmen der Leberchirurgie beschäftigen.

6.2.1 Computergestützte Planung leberchirurgischer Eingriffe

Die konventionelle Planung von Eingriffen an der Leber wird auf Basis der Schichtbilddaten, in den meisten Fällen Computertomographiedaten, durchgeführt und basiert auf den Couinaud Segmenten. Die CT-Daten liegen in den meisten Fällen in zwei Phasen vor. Durch die Verabreichung von Kontrastmittel in den Blutkreislauf des Patienten sind in den verschiedenen Aufnahmen jeweils die Arterien oder die Venen gut sichtbar (venöse und arterielle Schichtbilddaten), weil sich das Kontrastmittel zu unterschiedlichen Zeitpunkten in den Arterien und

Venen befindet. Anhand dieser Daten wird versucht, das Volumen des zu entfernenden Lebergewebes (Resektat), das Volumen des verbleibenden Leberparenchyms (Remnant) und die Gefäßanatomie einzuschätzen. Die Segmenteinteilung und die Anatomie der Gefäße variieren allerdings bei den Patienten und werden auch durch Tumorwachstum, vorangegangene Operationen und regeneratives Wachstum beeinflusst. Die Planung mit Hilfe der Standardlebersegmenteinteilung besitzt deshalb eine sehr eingeschränkte Aussagekraft [Lamadé u. a., 2000].

Die computergestützte 3D-Rekonstruktion der Patientenanatomie verbessert signifikant die Genauigkeit der Tumorlokalisation sowie die Genauigkeit der Operationsplanung onkologischer Eingriffe und Leberlebendspenden [Lamadé u. a., 2000, 2005; Meinzer u. a., 2004]. Sie basiert auf einer Segmentierung der Leber, der Gefäßsysteme und Tumore bzw. Metastasen. Die Herausforderung liegt bei der Segmentierung und Analyse der Gefäßbäume. Die Computerunterstützung ermöglicht die Analyse von Risikogebieten einer Resektion, deren Gefäßversorgung nicht mehr gewährleistet wäre oder in denen es zu einer venösen Stauung kommen würde [Lang u. a., 2005; Lang u. Schenk, 2010]. Die patientenindividuelle Segmenteinteilung erfolgt über die Zuordnung der segmentierten Gefäße zu dem von ihnen versorgtem Lebergewebe [Soler u. a., 2000; Selle u. a., 2002; Meinzer u. a., 2004]. Die Resektionsfläche wird anschließend manuell definiert oder es wird ein automatischer Resektionsvorschlag auf Basis der Segmente, Gefäße und Sicherheitsränder erstellt [Preim u. a., 2002; Meinzer u. a., 2002]. Die Operationsplanung wird als Dienstleistung u.a. von MEVIS DISTANT SERVICES (www.mevis.de/mms) weltweit und vom DEUTSCHEN KREBSFORSCHUNGZENTRUM (www.dkfz.de) klinikintern durchgeführt.

Die präoperativ erstellte Operationsplanung dient der Vorbereitung des Eingriffs. Sie steht den Chirurgen aber auch im Operationssaal auf einem Monitor zur Verfügung (siehe Abbildung 6.6) und kann dort an intraoperative Befunde (z.B. zusätzlich entdeckte Metastasen) angepasst werden [Thorn u. a., 2004; Schenk u. a., 2008].

Die analysierten patientenindividuellen Daten können außerdem für eine Navigation während der Operation eingesetzt werden. Das ist nicht trivial, denn die Leber ist sehr deformierbar. Um die Übertragung der Planung auf den realen Eingriff zu erleichtern, werden die Instrumente des Operateurs mit Hilfe von Referenzpunkten und einem Kamerasystem im Raum lokalisiert und der OP-Situs mit den Planungsdaten in Beziehung gesetzt (siehe Abbildung 6.6) [Weber u. a., 2005; Lamadé u. a., 2005].

6.2.2 Computergestütztes Training leberchirurgischer Eingriffe

Die webbasierte Lernumgebung INTERACTIVE 3D LIVERANATOMY [Crossingham u. a., 2009] wurde für die Vermittlung der Anatomie der Leber und Arten der Leberresektionen entwickelt. Es soll den Ärzten in der Ausbildung die komplexe räumliche Anatomie der Leber vermitteln und sie dabei unterstützen, auf Basis von zweidimensionalen CT-Schichtbilddaten mental ein 3D-Modell zu erstellen. Die Lernziele werden auf der Projektseite *Perioperative*

Abbildung 6.6: *Die Ergebnisse der Planung werden im OP auf einem Monitor dargestellt. Bei einer navigierten Operation kann der Chirurg die Position des Instrumentes am Monitor verfolgen und so die Planung präzise auf den OP-Situs übertragen.*

interaktive Ausbildung des Fachbereiches Chirurgie des Allgemeinen Krankenhauses Toronto (pie.med.utoronto.ca/VLiver) erläutert:

- Erlernen und Identifizieren von internen und an der Oberfläche gelegenen Strukturen der normalen Leberanatomie
- Steigerung des Verständnisses von CT-Schichtbildern der normalen Leberanatomie der vier Systeme: Lebervenen, Portalvenen, Leberarterien und Leberduktus durch simultanen Vergleich mit dem 3D-Modell der Leber
- Erlernen und Verstehen, wie das Gefäßsystem die acht Couinaud Segmente definiert
- Erlernen der Resektionsgrenzen der gebräuchlichsten chirurgischen Methoden

Die Webseite steht den Lernenden im Internet zur Verfügung. Es werden 3D-Modelle der Leberanatomie präsentiert, die interaktiv durch vertikale oder horizontale Rotation, das Ein- und Ausblenden der Strukturen und Änderung ihrer Transparenz exploriert werden können (siehe Abbildung 6.7). Textuelle Beschreibungen und Schichtbilddaten bieten zusätzliche Informationen.

Die Internetplattform WEBOP (www.webop.de) ist ein webbasiertes Präsentationssystem und bietet im Bereich der Leberchirurgie für zwei leberchirurgische Eingriffe (Hemihepatektomie rechts, Leberzystenentdachung) Material zum Lernen und Vertiefen der relevanten Anatomie, des perioperativen Managements, der Durchführung dieser Eingriffe, mögliche Komplikationen und Evidenzen sowie Videos und Foren für die Diskussion mit Experten. Eine zweite Internetplattform für chirurgische Aus- und Weiterbildung, WEBSURG (www.websurg.com), ist auf laparoskopische Eingriffe spezialisiert. WEBSURG wurde in Abschnitt 4.3.1 bereits näher beschrieben. Die Inhalte beider Plattformen werden von Chirurgen erstellt.

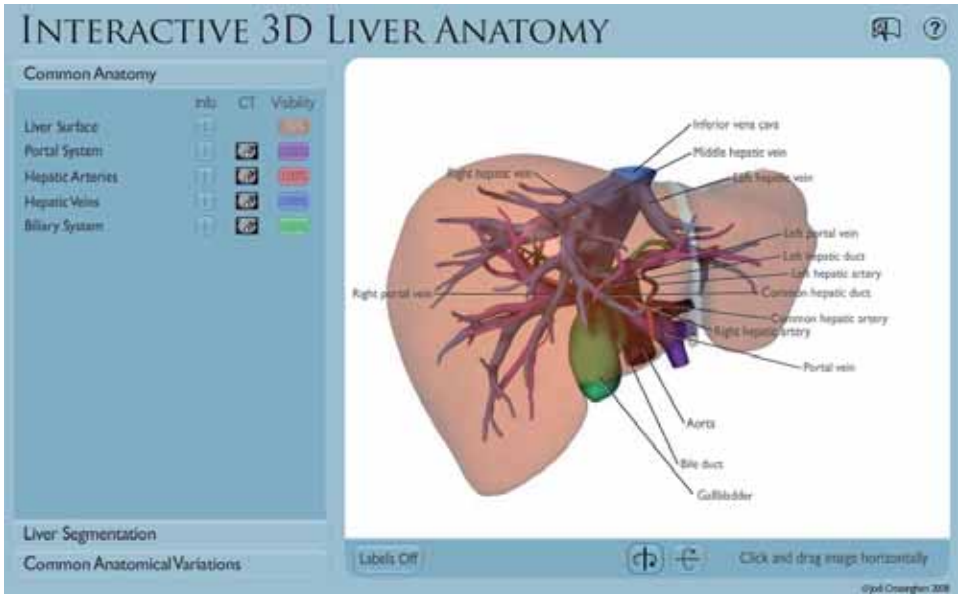


Abbildung 6.7: *Das webbasierte System* INTERACTIVE 3D LIVERANATOMY *(http://pie.med.utoronto.ca/VLiver/) vermittelt unter anderem mit Hilfe dreidimensionaler Darstellungen die Anatomie der Leber. Annotationen helfen dem Benutzer bei der Orientierung. Zusätzlich können textuelle Informationen zu den Strukturen und Schichtbilddaten aufgerufen werden.*

Im Rahmen des Forschungsprojektes PASSPORT (www.passport-liver.eu) beschäftigen sich Hochschulen und Institute aus der Schweiz, Frankreich, England und Deutschland mit der neuartigen patientenspezifischen Simulation und dem präoperativen realistischen Training für Leberoperationen. Dafür werden anatomische, mechanische, biologische präoperativ modellierte Informationen sowie Informationen zum Erscheinungsbild in einem einheitlichen Modell des Patienten kombiniert. Zusätzlich sollen biomedizinische Daten von makroskopischen und mikroskopischen Informationen integriert werden. Diese Modelle bilden die Grundlage für einen Simulator, der für Ausbildungszwecke und für die Planung eingesetzt werden kann. Es wird die dynamische Deformation der Leber, die Deformation durch Atembewegung und die Modellierung der Regeneration nach vorangegangenen Eingriffen in die Berechnung für das verbleibende Restvolumen der Leber einbezogen. Auf diese Weise kann den Patienten eine präzise Risikoeinschätzung für die geplante Therapie geliefert werden.

Die verfügbaren Systeme für das Training leberchirurgischer Eingriffe beschränken sich auf Präsentationssysteme zur Vermittlung der chirurgischen Vorgehensweisen und dem Einsatz von Instrumenten. Es existieren Ansätze zur Entwicklung von Chirurgiesimulatoren, die zur Schulung manueller Fertigkeiten eingesetzt werden sollen [**?**Adler u. a., 2010].

Im Rahmen des Projektes SURGERYTUBE (Start im April 2010) wird eine Web 2.0 Weiterbildungsplattform für die Qualifizierung von Chirurgen entwickelt. Auf der Plattform soll zeit- und ortsunabhängig Anwenderwissen zur Verfügung gestellt werden. Der zentrale Punkt ist die Integration von Lernen und täglichen Arbeitsprozessen. Die Inhalte der Plattform soll

durch Fachexperten und die Anwender bereit gestellt werden. Dabei handelt es sich beispielsweise um Live-Operationen, Team-Hospitanzen, Falldarstellungen und Fachbeiträge. Einen Schwerpunkt stellt die Integration interaktiver 3D-Visualisierungen für Lehrzwecke dar. Die Konzeption der Plattform erfolgt ebenfalls szenariobasiert [Preim, 2010].

6.3 Konzeption des LIVERSURGERYTRAINERS

Nach der Betrachtung der medizinischen Grundlagen und verwandten Arbeiten wird in diesem Abschnitt auf die Konzeption und die Umsetzung des LIVERSURGERYTRAINERS eingegangen. Dabei werden zunächst die Analyse der Ausgangsbedingungen und die Konzeption auf Basis der Szenarien erläutert. Danach wird auf die einzelnen Trainingsschritte, ihren didaktischen Hintergrund und die Personalisierung des Trainings eingegangen. Abschließend werden die im Verlauf der Entwicklung durchgeführten Evaluierungen und ihre Ergebnisse beschrieben.

6.3.1 Analyse der Ausgangsbedingungen

Die Analyse der Ausgangsbedingungen ist in verschiedene Abschnitte gegliedert, die im Folgenden jeweils kurz beschrieben werden.

Problem- und Bedarfsanalyse

Für die operative oder interventionelle Behandlung von Lebertumoren existiert eine Vielzahl an Möglichkeiten (siehe Abschnitt). Die computergestützte Operationsplanung für Eingriffe an der Leber wird seit einigen Jahren klinisch eingesetzt. Die Systeme ermöglichen den Chirurgen, einen therapeutischen Eingriff präoperativ mit Hilfe der 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.

Es sind keinerlei Systeme bekannt, die die präoperative computergestützte Planung chirurgischer Eingriffe an der Leber trainieren. Es existieren vorrangig fallbasierte Lernsysteme für Medizinstudenten, die auf Diagnostik und medikamentöse Therapie ausgerichtet sind. Trainingssysteme für die Chirurgie konzentrieren sich bisher eher auf die nicht patientenspezifische Chirurgiesimulation mit deformierbaren Modellen für laparoskopische Eingriffe oder auf die Vermittlung von Faktenwissen (siehe Abschnitt 4.3). Da es zunehmend Softwaresysteme gibt, die die präoperativen Entscheidungen unterstützen und der Einsatz solcher Systeme nicht zur medizinischen Ausbildung gehört, ist ein Trainingssystem für den Einsatz dieser Systeme wünschenswert.

Anwenderanalyse

Die Anwender des Lernsystems sind angehende Fachärzte bzw. Assistenzärzte der Chirurgie mit der Subspezialisierung Abdominalchirurgie. Sie verfügen über umfangreiches Anatomiewissen. Da es sich bei den Anwendern auch um Ärzte in der Facharztausbildung handelt, kann nicht von einem erfahrenen Chirurgen als Benutzer ausgegangen werden. Die Operationserfahrung ist heterogen. Weiterhin besitzen sie unterschiedliche Erfahrung im Umgang mit dem Computer bzw. bei der Arbeit mit Planungssystemen. Chirurgen sind eher mit der realen räumlichen Darstellung der Anatomie vertraut als mit den zweidimensionalen Schichten der Bildgebung oder mit 3D-Visualisierungen. Im Lernsystem sollte auf diese, teilweise unterschiedlichen, Wissensstände eingegangen werden.

Ziele

Der LIVERSURGERYTRAINER soll den Chirurgen das Training der notwendigen Arbeitsabläufe, der präoperativen Entscheidungen und der Interaktionstechniken zur Planung von Eingriffen (z.B. Einzeichnen von chirurgischen Schnittflächen und Definition von Applikatoren) auf Schichtbilddaten und dreidimensional rekonstruierten Modellen ermöglichen. Im Bereich der onkologischen Eingriffe soll das parenchymsparende Operieren trainiert werden. Die Operationstechnik der Leberlebendspenden soll einer breiteren Masse der Chirurgen vermittelt werden. Für den Bereich der Thermoablation soll durch das praxisnahe Training eine verringerte Rezidivquote erreicht werden.

Lerninhalte

Um das Training realitätsnah zu gestalten, werden Trainingsszenarien verwendet, die auf realen Fällen basieren. Auf diese Weise werden außerdem ganzheitliche Arbeitsabläufe trainiert, was den Lernenden die Übertragung der benötigten Fertigkeiten in den klinischen Alltagsprozess erleichtert. Es sollen vorrangig (Interaktions-) Techniken, die Definition von Resektionsflächen zur Tumorresektion bzw. Spenderevaluierung bei Leberlebendspenden sowie Techniken zur Platzierung von Applikatoren auf Schichtbilddaten und 3D-Modellen trainiert werden.

Analyse des Einsatzkontextes

Das Training mit dem LIVERSURGERYTRAINER soll im Rahmen von Fortbildungskursen erfolgen und zu Hause fortgesetzt werden können. In den Kursen können nach ausreichender Bearbeitungszeit die Ergebnisse vorgestellt und direkt mit chirurgischen Experten diskutiert werden. Um ein räumlich und zeitlich flexibles Lernen zu ermöglichen, kann der LIVERSURGERYTRAINER auf jedem aktuellen Standard-PC installiert und genutzt werden.

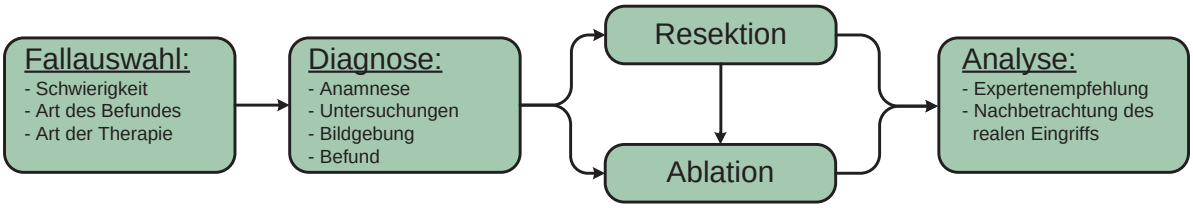


Abbildung 6.8: *Workflow des onkologischen Trainings mit dem* LIVERSURGERYTRAINER.

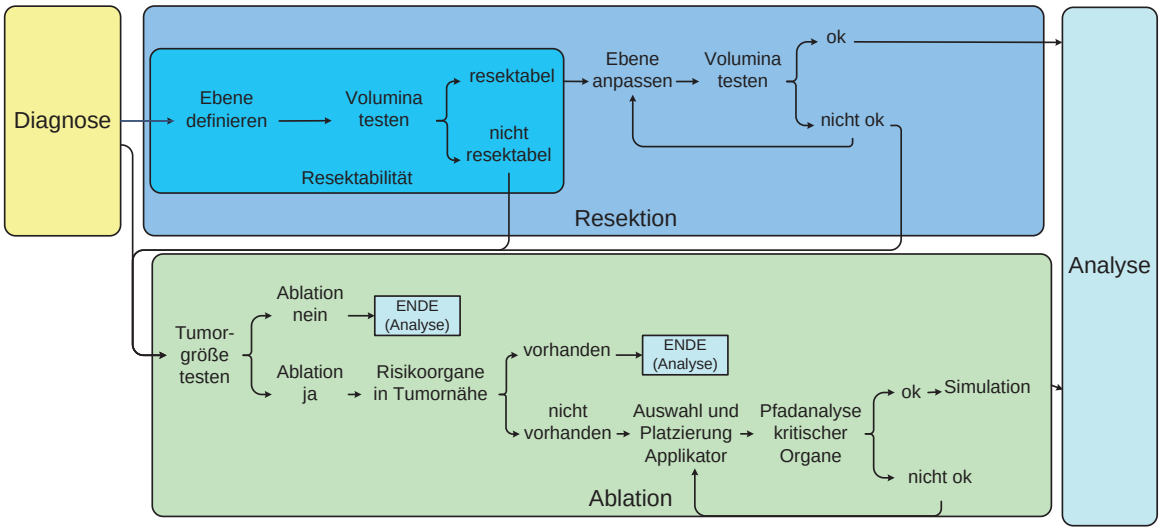


Abbildung 6.9: *Ausschnitt aus dem Workflowdiagramm des Trainings onkologischer Eingriffe. Es sind die Schritte und Entscheidungsmöglichkeiten während des Trainings der Resektion und Ablation dargestellt.*

Wissens- und Aufgabenanalyse

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 Spezifikation und das vorausgesetzte Hintergrundwissen bestimmt. Der Ablauf des Trainings von onkologischen Eingriffen und Leberlebendspenden ist auf einer sehr abstrakten Ebene in Abbildung 6.9 und 6.10 zu sehen. Dort werden beispielhaft die einzelnen Handlungsschritte, Entscheidungen und ihre Abhängigkeiten während des Trainings dargestellt.

Auf Basis der Ablaufdiagramme wurden das vorausgesetzte und das mit dem System zu vermittelnde Wissen definiert. Vorausgesetzt werden anatomische Zusammenhänge, medizinische Fachbegriffe und Grundlagen zu Tumorerkrankungen. Die Operabilität eines Patienten sollten die Lernenden einschätzen können. Ebenfalls sollten sie Grundkenntnisse bei der Interpretation von CT-, MRT- und Ultraschall-Daten, der Planung und Durchführung konventioneller Resektionsmethoden, Ablationen und Leberlebendspenden besitzen.

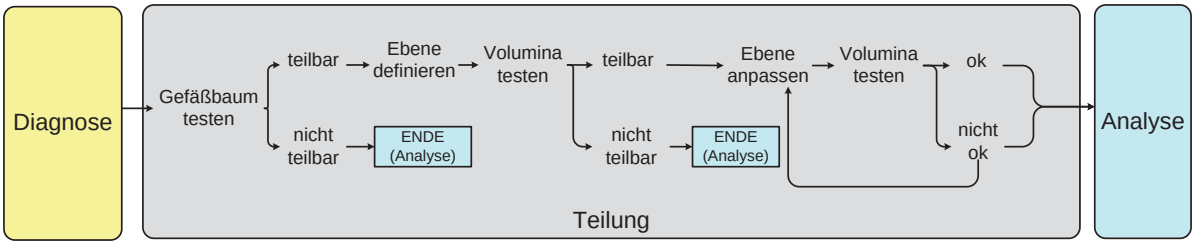


Abbildung 6.10: *Ausschnitt aus dem Workflowdiagramm des Trainings der Leberlebendspende: Es sind die Schritte und Entscheidungsmöglichkeiten während des Trainings der Teilung dargestellt.*

Es soll die Vorgehensweise einer computergestützten Planung mit ihren einzelnen Schritten sowie die Interaktion mit den 2D- und 3D-Daten vermittelt werden. Die Interaktion mit den Schichtbilddaten ist einigen Lernenden möglicherweise von der Nutzung der medizinischen Workstations bekannt. Das sollte allerdings nicht vorausgesetzt werden, da diese in ihrer kompletten Funktionalität hauptsächlich von Radiologen genutzt werden. Zu den wichtigen zu vermittelnden Techniken gehören:

- Scrollen durch die Schichten
- Einstellung eines Grauwertfensters mit den Parametern Window und Center, so dass die jeweils interessierenden Strukturen im bestmöglichen Kontrast zur Umgebung beurteilt werden können
- Ablesen der Annotation der Daten (z.B. Auflösung)
- Nutzung von Überlagerung der Schichtbilddaten mit Segmentierungsergebnissen (siehe Abbildung 6.11)
- Definition der Schnittfläche durch das Zeichnen von Schnittlinien in mehreren Schichten, Modifikation der Fläche durch direkte Manipulation (Verschieben der Linie)
- Definition des Applikators, Markieren der aktiven Zone und der Schaftposition durch Markerplatzierung, Modifikation durch Verschieben der Marker

Der Umgang mit dem 3D-Modell der Leber und ihrer Gefäßsysteme ist für viele Chirurgen unbekannt. Deshalb sollen die Benutzer mit den folgenden Aspekten vertraut gemacht werden:

- Rotation, Translation und Zoomen der 3D-Szene
- Ein- und Ausblenden von Strukturen
- Ändern von Transparenzen der Strukturen
- Vermessungen, z.B. minimale Abstände (siehe Abbildung 6.12), Volumina, Ausdehnungen
- Definition der Schnittfläche auf der Leberoberfläche, Definition der Schnittfläche auf den Gefäßen, Modifikation der Fläche durch direkte Manipulation im 3D-Modell

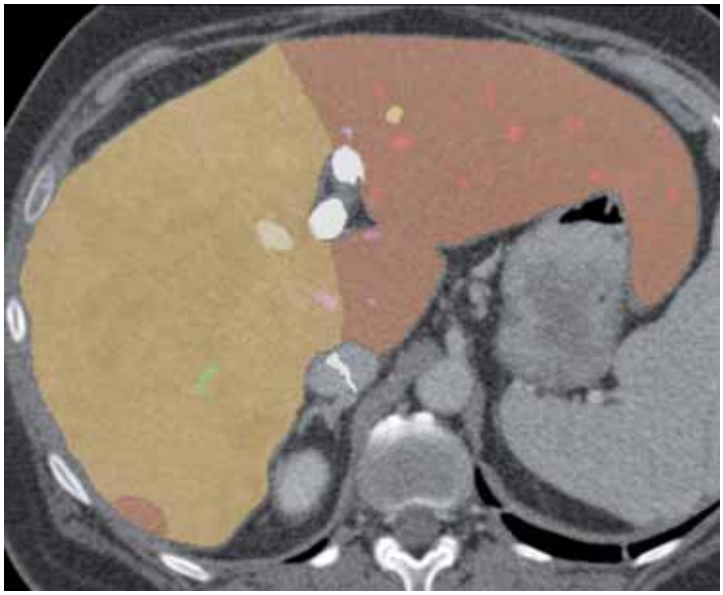


Abbildung 6.11: *Computertomographieschicht des Abdomens. Die Leber (braun), der Tumor (ocker) und die Venen (weiß, gelb, rot, grün, lila, beige) sind hervorgehoben. Die farbigen Überlagerungen helfen den Lernenden bei der Identifizierung anatomischer Strukturen.*

Außerdem sollen die Unsicherheiten der Diagnosestellung vermittelt werden. Das geschieht durch die Präsentation von Operationsberichten und Erläuterungen von Experten, die z.B. das Vorgehen bei der Entdeckung einer zusätzlichen Metastase während des Eingriffs beschreiben.

6.3.2 Szenariobasierte Entwicklung

Es wurden jeweils für die zu trainierenden Teilgebiete der onkologischen Interventionen und der Leberlebendspenden Szenarien erstellt. Beim Entwurf der Szenarien wurde besonders auf das Training unterschiedlicher Schwierigkeiten eingegangen. Für die onkologischen Fälle wurden exemplarisch die „Resektion eines Tumors in peripherer Lage“ und die „Resektion von zwei Tumoren in unterschiedlichen Leberlappen“ sowie für die Leberlebendspenden die „Transplantation der Segmente II und III auf ein Kind“ und die „Transplantation des linken Leberlappens“ mit hohem Detailgrad beschrieben. Ergänzend wurden weitere Szenarien skizziert, um Abweichungen zu verdeutlichen.

Die Szenarien basieren auf detaillierten Diskussionen mit chirurgischen Experten. Initial wurden Vorschläge erarbeitet, die mit den Chirurgen diskutiert wurden. Anschließend erfolgte eine Verfeinerung und Überarbeitung der Vorschläge. Im Folgenden wird eine User Story der onkologischen Eingriffe präsentiert.

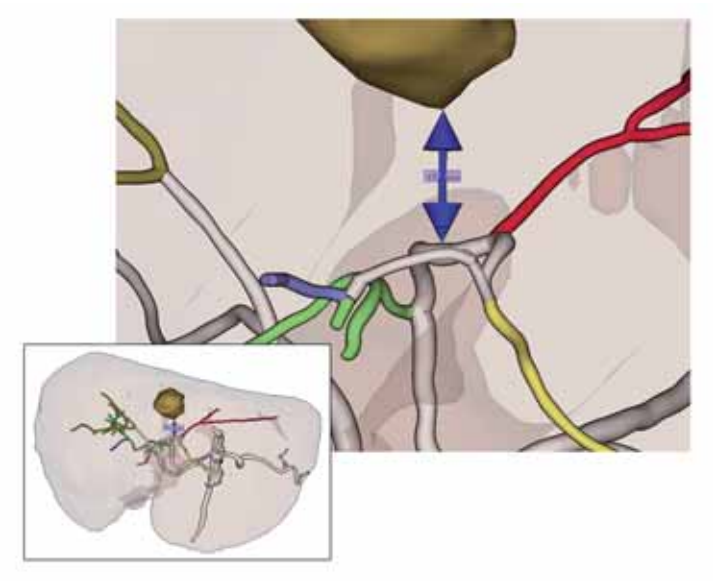
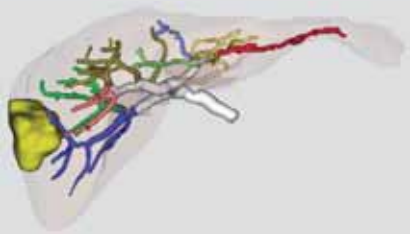


Abbildung 6.12: *3D-Modell der Leber, eines Tumors und der Leberarterien. Es wird der minimale Abstand des Tumors zu den Gefäßen gemessen.*

Beispiel - User Story „Resektion Tumor 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 der Planung 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 Chemotherapie behandelt wurden. Im nächsten Schritt 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 achtet er besonders auf die Anatomie der Gefäße, die in vier Kategorien (Portalvene, Lebervene, Leberarterie, Gallengänge) gegliedert ist. Weil er sich bei der Bewertung der Anatomie etwas unsicher ist, blendet er sich zur Unter-*

stützung die Gefäße als farbige Überlagerung hinzu (siehe Abbildung 6.11). 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 Hilfeschritte 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 10 mm 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 patientenindividuellen 3D-Modell der Leber und der Gefäßsysteme angezeigt 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. Der Arzt hat nun seine Planung abgeschlossen und möchte im folgenden Schritt sehen, wie der Experte diesen Fall geplant hat. In der 3D-Analyse erkennt er, 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, dass er die Anatomie der Gefäße richtig eingeschätzt hat. Im letzten Schritt informiert sich der Arzt 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.

Im den folgenden Abschnitten werden die Konsequenzen der Szenarien auf das Design des LIVERSURGERYTRAINERS beschrieben.

6.3.3 Fälle und Daten

Der LIVERSURGERYTRAINER enthält reale anonymisierte Falldaten für das Training. Die Original-CT-Daten wurden im Rahmen des Projektes von MEVIS DISTANT SERVICES aufbereitet. Für jeden Trainingsfall existieren folgende Daten und Informationen:

- *CT-Daten:* Radiologische Beschreibung der Daten (Auflösung, Kontrastmittel, Beurteilung der Organe, ...), relevante Schichten, die Besonderheiten und pathologische Strukturen enthalten
- *Segmentierung der wichtigen Strukturen* (Leber, Gefäßbäume, Tumor bzw. Metastasen) als Überlagerung in den Schichtbilddaten und als 3D-Modell
- *Beschreibung des Falls:* Schwierigkeit der Planung (leicht, mittel, schwer), Besonderheiten des Falls (z.B. Gefäßvariationen), Besonderheiten der Planung, Erläuterungen von Unterschieden der Planung und des Eingriffs, Art der Resektion
- *Patientendaten:* (fiktiver) Name, Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht, Child-Pugh-Score, ASA-Score
- *Anamnese und Befund:* Beschwerden, relevante Vorerkrankungen, Diagnose (Art der Erkrankung, Anzahl und Lage des Tumors bzw. der Metastasen)
- *Untersuchungen zusätzlich zum Planungs-CT* (Sonographie, Biopsie ...) Ergebnisse und Bilder, Laborwerte (Bilirubin, Leberenzyme, Gerinnungsfaktoren, CHE)
- *Besonderheiten der Gefäßanatomie*
- *Planung des Experten* (Resektionsebene bzw. Applikator, Begründung des Vorgehens)
- *Nachbericht:* OP-Bericht, Bericht der Pathologie/Histologie, Bericht an den behandelnden Arzt, Foto des Resektats, Fotos der OP inkl. Beschreibung, Videos der OP inkl. Kommentare, Bilder des intraoperativen Ultraschalls

Die aktuelle Version des LIVERSURGERYTRAINERS enthält dreizehn Trainingsfälle, davon sind elf Fälle onkologische Leberresektionen und zwei Leberlebendspenden. Tabelle 6.1 gibt einen Überblick über diese Trainingsfälle und ihre Schwierigkeiten.

Bei drei onkologischen Eingriffen wurde eine Kombination von zwei Resektionen durchgeführt. Dabei handelte es sich jeweils um eine Ausprägung der Hemihepatektomie und um eine zusätzliche Entfernung einzelner Segmente oder einem atypischen Vorgehen, bei der die Resektion ohne Orientierung an den Lebersegmenten erfolgt. Der aktuelle Stand der Fallbasis enthält alle wichtigen onkologischen Operationsstrategien. Die Anzahl spiegelt grob die Häufigkeit im klinischen Alltag wieder. Bei der geringen Fallzahl kann jedoch noch nicht von einem repräsentativen Verhältnis der verschiedenen Eingriffe gesprochen werden kann.

Für die Leberlebendspende liegen bisher nur zwei Fälle vor, bei denen es sich um eine Spende für ein Kind handelt. Die Planung dieser Eingriffe ist in der Regel nicht sehr kompliziert. Die Fälle eignen sich daher gut für einen Einstieg in das Training der Planung für Leberlebendspenden. Zur Vervollständigung des Fallangebotes sollten noch Fälle integriert werden, anhand derer die Planung für einen erwachsenen Spender in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden trainiert werden kann. Für das Training der Resektionsführung sind diese Fälle allerdings nicht unbedingt notwendig, denn sie ist identisch mit einer Hemihepatektomie rechts.

Art des Eingriffs	Anzahl	Schwierigkeit
Erweiterte Hemihepatektomie rechts	3	2x schwierig, 1x mittel
Erweiterte Hemihepatektomie links	1	schwierig
Hemihepatektomie rechts	2	mittel
Hemihepatektomie links	1	k.A.
Segmentektomie	4	1x schwierig, 1x mittel, 1x leicht, 1x k.A.
Atypische Resektion	3	1x schwierig, 2x mittel
- davon kombinierte Resektionen	3	1x schwierig, 2x mittel
Leberlebendspende Kind	2	1x mittel, 1x leicht
Leberlebendspende Erwachsener	-	-

Tabelle 6.1: *Übersicht über die im* LIVERSURGERYTRAINER *verfügbaren Fälle.*

6.3.4 Trainingsschritte

Der LIVERSURGERYTRAINER orientiert sich an den klinischen Abläufen der Therapieplanung für die Leber (siehe Abbildung 6.13). Der Lernende wählt aus dem Spektrum der onkologischen Eingriffe oder Leberlebendspenden einen Fall für sein Training aus oder lässt sich einen Fall zufällig zuweisen. In den ersten Schritten zur Bearbeitung eines Falls bekommt der Nutzer Informationen zur Anamnese des Patienten, durchgeführten Untersuchungen und der Bildgebung präsentiert. Für die Therapieplanung onkologischer Eingriffe stehen dem Lernenden das Einzeichnen virtueller Resektionsflächen und die Definition der Lage virtueller Applikatorsonden zur Verfügung. Im Schritt der Analyse muss der Lernende eine seiner geplanten Therapievarianten auswählen und trifft damit seine Therapieentscheidung. Um dem Lernenden Rückmeldung zu seiner Planung zu geben, wird das Planungsergebnis visuell und textuell einer Expertenempfehlung gegenüber gestellt. Abschließend werden Informationen zum Verlauf des realen Eingriffs und zum postoperativen Verlauf präsentiert.

Um den Lernenden in neue Fälle einzuführen und ihn bei der interaktiven Exploration der 3D-Daten zu unterstützen, werden Animationen genutzt. Die abstrakte Spezifikation der Animationsskripte ist unabhängig von der konkreten Geometrie und Topologie der Szene und kann deshalb auf unterschiedliche Datensätze (beispielsweise Daten mehrerer Patienten, die die gleiche Körperregion abbilden) angewandt werden [Mühler u. a., 2006].

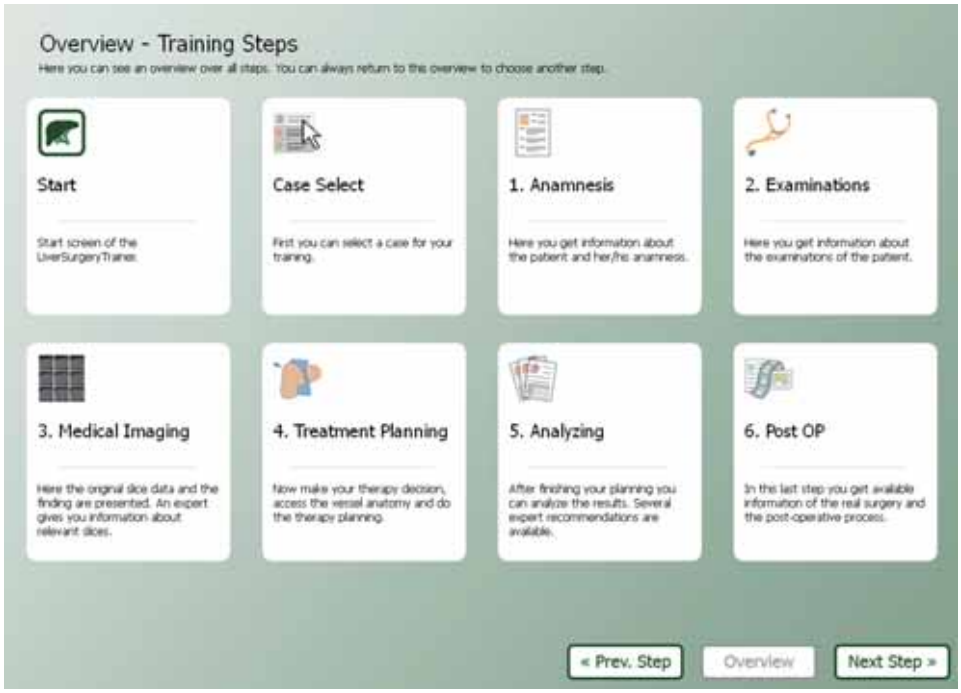


Abbildung 6.13: *Überblicksfenster des* LIVERSURGERYTRAINERS. *Die Lernenden bekommen nach dem Laden eines Falls die einzelnen Trainingsschritte angezeigt. Der Button „Next Step“ leitet den Lernenden zum ersten Schritt. Die Schritte können auch direkt angewählt werden.*

Fallauswahl

Aufgrund der Ergebnisse der Evaluierung unterschiedlicher Techniken für die Fallauswahl (siehe Abschnitt 2.3.5) und der bisher geringen Anzahl an Fällen (13) erfolgt die Auswahl der Trainingsfälle im LIVERSURGERYTRAINER in einer tabellenähnlichen Auflistung (siehe Abbildung 6.14). Die Trainingsfälle können nach verschiedenen Kriterien ausgewählt werden. Dafür stehen folgende Parameter zur Verfügung:

- *Medizinische Parameter:* Art des Tumors, Art der Therapie, Lokalisation und Anzahl des Tumors bzw. der Metastase (einfach - ein Lebersegment; schwierig - in mehreren Segmenten oder beiden Leberlappen, zentral, kritische Nähe oder Infiltration großer Gefäße)

- *Parameter des Trainings:* Schwierigkeit des Falls im Lernsystem, Status der Bearbeitung des Falls, Dauer der Bearbeitung des Falls

- *Parameter für die Wiedererkennung eines Falls:* z.B. Anzahl der Tumore bzw. der Metastasen, Name, Alter, Geschlecht, OP-Datum

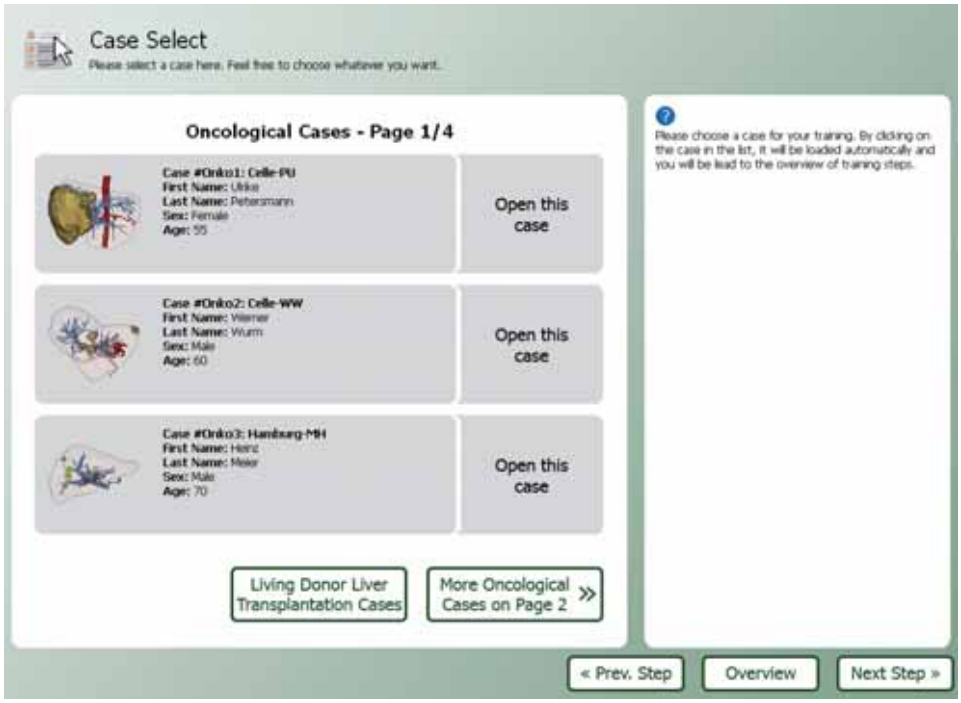


Abbildung 6.14: *Die Auswahl des Trainingsfalls erfolgt in einer Auflistung. Zu jedem Fall bekommt der Lernende durch das Icon eine grobe Vorstellung der Pathologie des Patienten. Es werden außerdem der Name, das Geschlecht und das Alter präsentiert.*

Anamnese, Voruntersuchungen, Planungsdaten

Im ersten Schritt der Fallbearbeitung werden die Patientendaten präsentiert. Dazu zählen neben fiktiven Angaben zum Namen, Alter und Geschlecht vor allem für die Diagnosestellung und Therapiefindung relevante Informationen zum Gesundheitszustand und Vorerkrankungen (siehe Abbildung 6.15). Es werden außerdem weitere, zusätzlich zum Planungs-CT, durchgeführte Untersuchungen und ihre Ergebnisse beschrieben (z.B. Ultraschalluntersuchungen, Laborergebnisse der Blutuntersuchung).

Im Anschluss werden die CT-Schichtbilddaten präsentiert, damit sich der Benutzer vor der Planung des Eingriffs mit ihnen vertraut machen kann. An dieser Stelle ist das 3D-Modell der Patientenanatomie noch nicht zugänglich. Sie sollen sich, wie im klinischen Alltag bisher noch verbreitet, auf Basis der 2D-Daten einen ersten Überblick über die Anatomie und Pathologie des Patienten verschaffen. Es steht der Befund eines Experten zur Verfügung.

Erstellung der Planung

Die Planung des Eingriffs ist grob in zwei Teile untergliedert. Die Beurteilung der Gefäßanatomie und die Definition der Resektionsebene bzw. des Applikators.

Abbildung 6.15: *Die Patientendaten und die Informationen zur Anamnese des Patienten im* LIVERSURGERYTRAINER.

Die *Beurteilung der Anatomie* der Gefäße spielt für die Therapieentscheidung eine wichtige Rolle. Für die Einschätzung der Gefäße stehen biphasische Schichtbilddaten zur Verfügung. Der Lernende wird durch drei Bewertungsschritte geleitet, in denen er aus einer Liste anatomischer Variationen der Venen, Arterien und Gallengänge, die in diesem Fall vorliegende Anatomie charakterisieren soll. Für ungeübte Nutzer können als Unterstützung farbige Überlagerungen der Strukturen eingeblendet werden. In diesem Schritt können die Lernenden auf das 3D-Modell zugreifen. Auf Basis der 3D-Daten ist eine einfachere Beurteilung möglich. Standardmäßig erfolgt die Anatomiebewertung auf Basis der Schichtbilddaten, da dies momentan die etablierte Vorgehensweise darstellt.

Die Speicherung der virtuellen Planungen des Lernenden erfolgt in *chirurgischen Strategien*. Eine Strategie enthält jeweils die Resektionsflächen 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.

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 anhand der 2D-Daten an die 3D-Planung herangeführt und können jederzeit zur 2D-Ansicht wechseln.

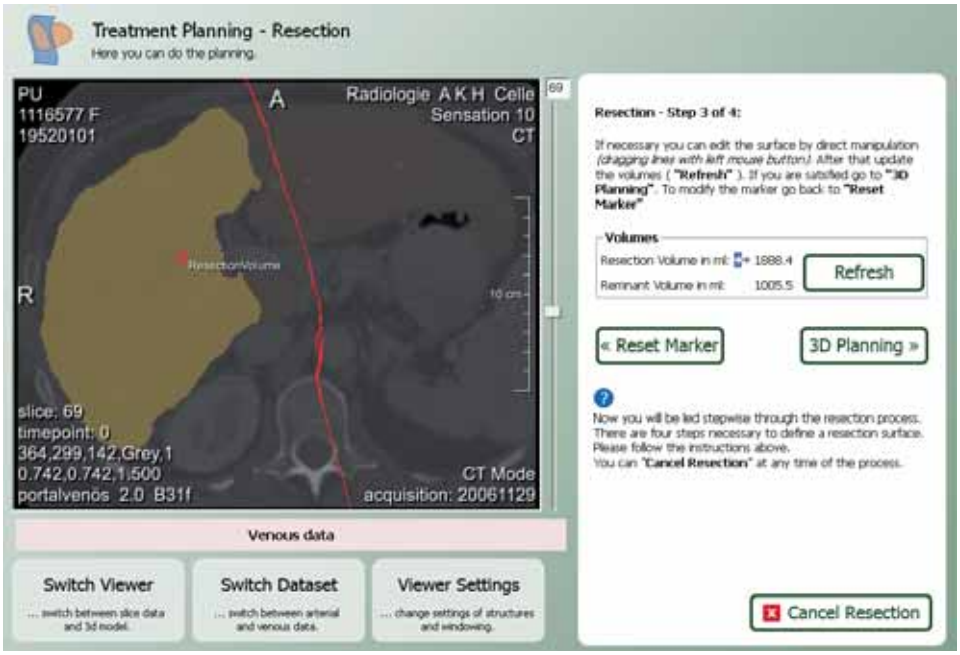


Abbildung 6.16: *Der Benutzer bekommt nach dem Einzeichnen der Resektionsfläche die Volumina des Resektionsgebietes und des im Patienten verbleibenden Lebergewebes angezeigt. Um diese Volumina zu optimieren kann er durch direkte Manipulation die Resektionslinien korrigieren.*

Virtuelle Resektionsflächen können auf den einzelnen Schichten eingezeichnet werden. Es sollte, abhängig vom Schichtabstand, ca. in jeder zehnten Schicht der Verlauf der Resektion bestimmt werden, damit die Fläche möglichst genau berechnet werden kann und später keine größeren Optimierungen notwendig sind. Anschließend wird aus den Linien automatisch eine Fläche generiert. Nach der Bestimmung des Resektats durch das Setzen eines Markers werden die Volumina für das Resektat und das im Patienten verbleibende Leberparenchyms berechnet (siehe Abbildung 6.16). Ist der Benutzer mit diesem Ergebnis nicht zufrieden (ist zum Beispiel das im Patienten verbleibende Volumen zu gering, wurden wichtige Gefäße verletzt oder der Sicherheitsrand nicht eingehalten), kann er die Resektionsfläche durch direkte Manipulation korrigieren und damit das Resektionsgebiet optimieren. Im darauf folgenden Schritt wird das Planungsergebnis im 3D-Modell präsentiert (siehe Abbildung 6.17).

Die Platzierung eines *virtuellen Applikators* erfolgt über die Markierung des Einstichpunktes auf der Haut und die Markierung der aktiven Zone im Tumor. Unabhängig vom Applikatortyp ist der Weg des Applikators durch den Körper von Interesse. Es dürfen keine Organe oder großen Blutgefäße verletzt werden. Anschließend muss unter Einbeziehung des Applikatortyps, seiner Parameter (z.B. Form, Größe, Dauer, Strahlungsmenge) und dem kühlenden Effekt umliegender Gefäße simuliert werden, wie viel Gewebe zerstört wird.

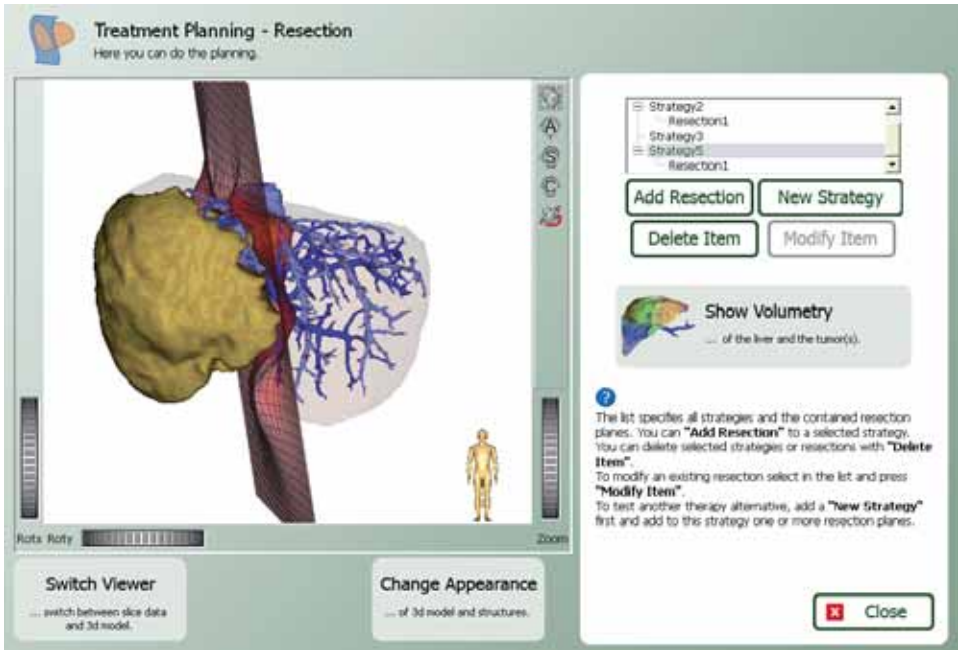


Abbildung 6.17: *Im letzten Schritt der Planung wird die Resektionsfläche im 3D-Modell präsentiert. Der Lernende kann seine Planung überprüfen und nötigenfalls anpassen.*

Analyse der Planung

Bisher erfolgt eine quantitative Gegenüberstellung der Resektionen und Applikatoren sowie der Volumina des Resektats und des verbleibenden Parenchyms der Therapie des Lernenden und des Experten. Der Vergleich erfolgt auf Basis einer synchronisierten Darstellung der 3D-Modelle (siehe Abbildung 6.18), der Schichtbilddaten sowie eines textuellen Vergleichs (Volumina der Leber, Lage des Applikators bzw. der Schnittfläche).

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 10 mm) 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), keine Gefäße mit einem Durchmesser > 5 mm durchtrennt wurden und der Zugang geeignet gewählt wurde (Vermeidung von zentralen Resektionen dorsal).

Bei Leberlebendspenden kommt es bei der Führung der Resektionslinie darauf an, möglichst die Segmentgrenzen zu respektieren. Das führt zu weniger Komplikationen durch Blutungen und weniger nicht perfundiertem Gewebe. Es steht das Perfusionsproblem des geteilten Leberparenchyms im Vordergrund. Die Größe der Schnittfläche ist bei dieser Art von Eingriffen unerheblich.

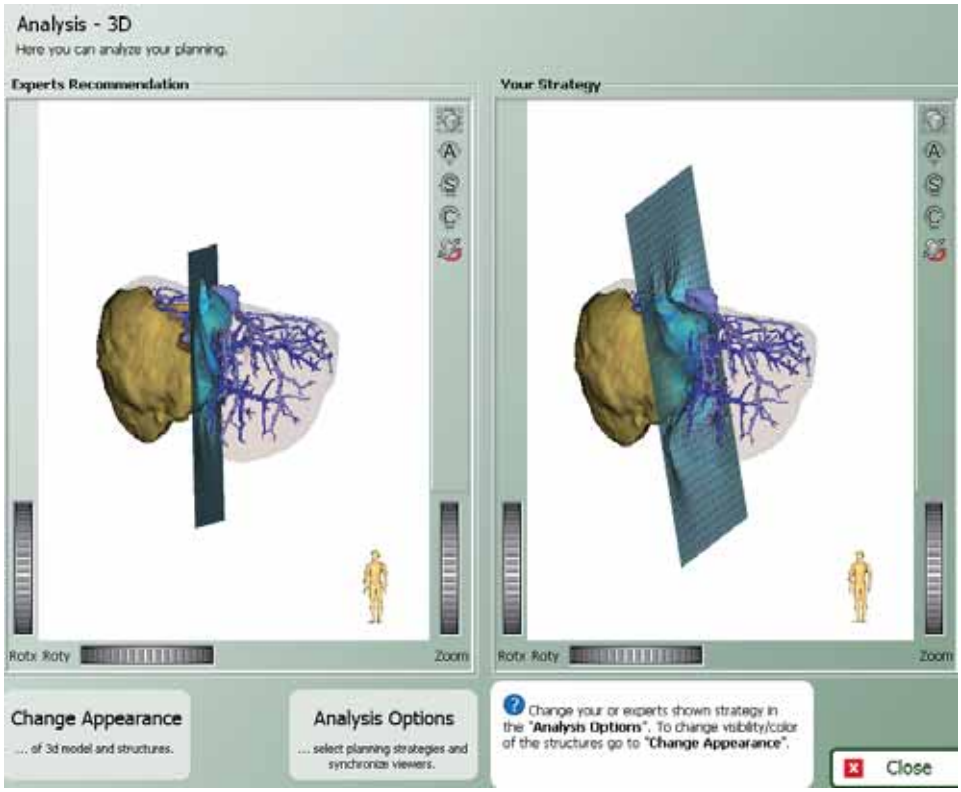


Abbildung 6.18: *Gegenüberstellung des 3D-Modells der Planung des Experten (links) und der Planung des Lernenden (rechts) im Analyseschritt.*

Die genannten Parameter und die Bandbreite von anatomischen, pathologischen und klinischen Parametern sind so groß, dass es nicht trivial ist, 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 der Planung direkt zu bewerten. Rückmeldung zu einzelnen Aspekten der Planung kann allerdings gegeben werden (z.B. Verletzung von Gefäßen, Anschneiden des Tumors, siehe auch Abschnitt 6.3.5 und 6.3.5). Um die Vielfalt der Therapievarianten und ihre Kompromisse zu verdeutlichen, erscheint die Präsentation mehrerer Expertenvorschläge sinnvoll. Die Experten kommentieren idealerweise ihre Therapieentscheidung und begründen ihr Vorgehen. Eine qualitative Bewertung bzw. die Definition der Kompetenz, die der Lernende durch das Training erreichen soll, sind bisher nicht berücksichtigt. Eine Protokollierung der Lerneraktionen im Bearbeitungsprozess und der Vergleich mit definierten Richtlinien zur Bearbeitung der notwendigen Schritte können möglicherweise dabei helfen, Ursachen für fehlerhafte Planungsergebnisse zu identifizieren.

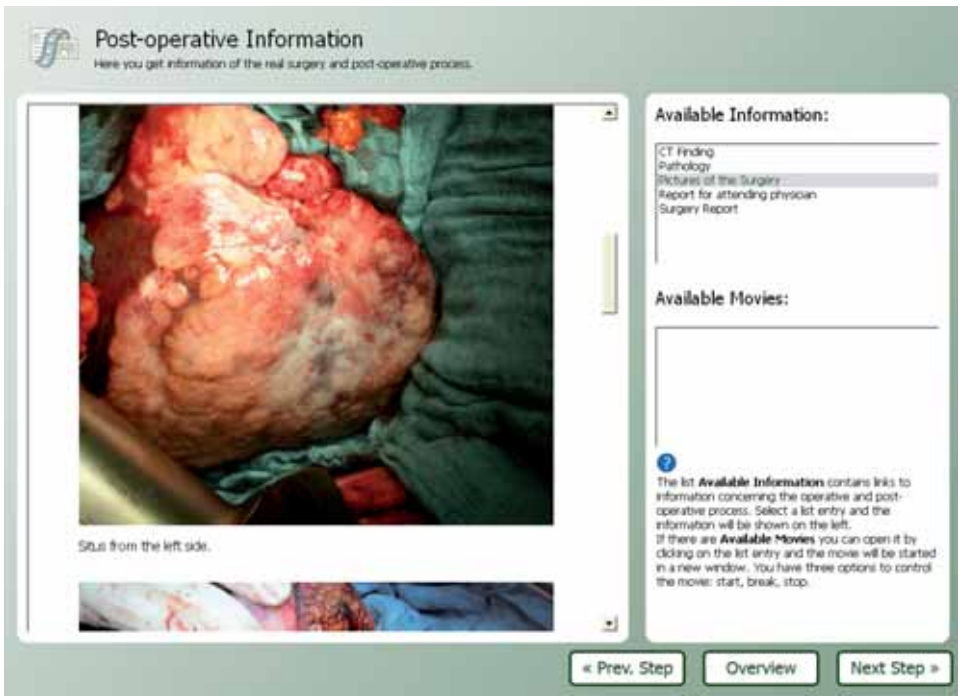


Abbildung 6.19: *Im letzten Schritt werden Informationen zur realen Operation und dem post-operativen Verlauf angeboten.*

Präsentation des operativen und postoperativen Verlaufs

Zur Abrundung des Falls wird abschließend Material zum operativen und postoperativen Verlauf des real durchgeführten Eingriffs präsentiert. Das Material umfasst in der Regel radiologische Berichte, den Operationsbericht, kommentierte Fotos und Videos der Operation (siehe Abbildung 6.19) sowie den Bericht an den behandelnden Arzt. Die Lernenden bekommen einen ganzheitlichen Eindruck des Falls und werden durch die Operationsberichte und Videos mit Situationen konfrontiert, in denen während des Eingriffs von der Planung abgewichen werden musste oder unvorhersehbare Komplikationen aufgetreten sind. Sie bekommen einen Einblick, wie erfahrene Operateure diese Situationen handhaben.

6.3.5 4C/ID-Modell

Dieser Abschnitt widmet sich der Umsetzung des 4C/ID-Modells (siehe Abschnitt 2.2.4) im LIVERSURGERYTRAINER. In den einzelnen Abschnitten werden die vier Komponenten (Lernaufgaben, Teilaufgabenübung, unterstützende Informationen, einsatzsynchrone Informationen) betrachtet.

Lernaufgaben

Durch die Verwendung realer Patientendaten (Trainingsszenarien) werden ganzheitliche Arbeitsabläufe trainiert. Das erleichtert den Lernenden die Einordnung der benötigten Fertigkeiten in den Gesamtkontext und in ihr Vorwissen. Im Folgenden wird ein Beispiel für ein Trainingsszenario gegeben:

Beispiel „Resektion eines einfachen Tumors“

„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.“

Zu diesem Szenario existieren verschiedene Fälle im System, mit denen trainiert werden soll. Die Fälle können sich in der Größe und Art des Tumors unterscheiden, unterschiedliche Gefäßanatomien und damit eine abweichende Segmenteinteilung der Leber besitzen.

Die Einteilung der Lernaufgaben im LIVERSURGERYTRAINER erfolgt in Aufgabenklassen von einfach zu komplex. Der Lernende soll zu Beginn seines Trainings eine Aufgabenklasse und damit die Schwierigkeit für sein Training bestimmen. Alternativ gibt es die Möglichkeit, sich die Aufgabe aus allen vorhandenen Klassen zufällig zuweisen zu lassen oder das Training von einfachen zu komplexen Aufgaben durchzuführen. Neben der Wahl der Schwierigkeit kann die Auswahl der Aufgabe auch nach der Art des Befundes (z.B. Tumor in peripherer Lage, zwei oder mehr Tumore in einem Leberlappen, zwei oder mehr Tumoren in beiden Leberlappen) und der Art des Therapieverfahrens erfolgen. Die Komplexität der Aufgaben wird von der Anzahl der benötigten Teilfertigkeiten und damit durch folgende Faktoren bestimmt:

- Lage und Form der Schnittfläche für die Resektion
- Stichkanal des Applikators, Anzahl und Art der gefährdeten Strukturen
- Anzahl der Applikatoren bzw. Resektionsflächen und deren Kombination
- Anatomische Variationen der Gefäßsysteme, andere Lebererkrankungen
- Narbengewebe und veränderte Anatomie durch Voroperationen
- Volumen des verbleibenden Parenchyms befindet sich im Grenzbereich

Für jede Aufgabenklasse muss ein bestimmtes Spektrum an Trainingsfällen vorliegen. Damit kann sichergestellt werden, dass die zu vermittelnden Fertigkeiten ausreichend trainiert werden können, bevor zur nächsten Komplexitätsstufe übergegangen wird. Zu Beginn werden die

auszuführenden Arbeitsschritte beschrieben und es werden detaillierte Ausführungsanweisungen für die Interaktion geliefert (z.B. für das Einzeichnen oder Editieren der Resektionslinien). Bei fortgeschrittener Bearbeitung der Aufgaben einer Klasse bekommen die Lernenden nur noch komplexe Tipps.

Beispiel „Definition des Resektionsfläche“

Detaillierte Anweisung: *„Zeichne Resektionslinien in den Schichtbildern ein. Das muss nicht in jeder Schicht geschehen. Es ist ausreichend, die Linie in jeder 10. Schicht und an kritischen Stellen (z.B. Nähe zu großen Gefäßen) zu definieren. Halte dafür den linken Mausbutton gedrückt und bewege die Maus. Die letzte gezeichnete Linie kann durch Drücken des Buttons* Undo Line *gelöscht werden. Wenn die Resektionslinien eingezeichnet sind, drücke den Button* Generate Plane *und aus den einzelnen Linien wird automatisch die Resektionsfläche berechnet.“*

Komplexer Tipp: *„Es müssen nun die Resektionslinien eingezeichnet und aus den Linien die Resektionsebene generiert werden.“*

Teilaufgabenübung

Die Aufgabe der computergestützten Planung von Eingriffen an der Leber enthält die Teilaufgaben der Definition von Schnittflächen und Applikatoren sowie die Interaktion mit den 3D-Modellen (z.B. Rotation, Zoomen, Vermessungen). Da die Ausführung dieser Teilaufgaben kritisch für eine Planung sind, sollen sie im Lernsystem im Rahmen einer Teilaufgabenübung separat trainiert werden. So wird eine bestmögliche Genauigkeit und eine Erhöhung der Geschwindigkeit bei der Ausführung dieser Aufgaben erreicht.

Die Teilaufgabe zur Definition der Resektionsebene enthält folgende Module:

- Zeichnen einer Resektionsebene in 2D
- Zeichnen des Resektionsverlaufs im 3D-Modell auf der Leberoberfläche
- Bestimmung des Resektionsverlaufs im 3D-Modell durch Bestimmung der Schnittpunkte mit den Gefäßen
- Manipulation der Ebene durch direkte Interaktion in 2D und 3D

Die Teilaufgaben werden zu Beginn der Aufgabenklasse, in der sie das erste Mal benötigt werden, angeboten. Sie folgen nach der Erläuterung eines einfachen Beispielfalls (z.B. Resektion eines peripheren kleinen Tumors), um den Zusammenhang zur Gesamtaufgabe herzustellen. Der Beispielfall kann durch ein kommentiertes Expertenvideo einer vollständigen Operationsplanung präsentiert werden. Es verdeutlicht dem Lernenden die zu trainierenden Teilaufgaben

und wozu er sie später benötigt. Das Training von Teilaufgaben kann an abstrakten Szenarien (z.B. idealisierte/konstruierte 3D-Modelle der Leber und Pathologien) oder an realen Szenarien (3D-Modelle der aufgearbeiteten Fälle) erfolgen.

Unterstützende Informationen

Unterstützende Informationen werden den Lernenden in Form relevanter Informationen zum Trainingsfall präsentiert. So werden beispielsweise Hinweise gegeben, worauf bei diesem speziellen Fall geachtet werden muss (z.B. Gefäßvariationen, Tumor nahe großer Gefäße). Beispiele von Experten und ihre Kommentare bieten zusätzliche Informationen zum medizinischen Hintergrund und zu Besonderheiten bei der computergestützten Planung und Interaktion (z.B. Resektion mit mehreren Ebenen). Die Lernenden erhalten Rückmeldung über das Ergebnis ihrer Planung durch einen Vergleich ihres Ergebnisses und den Ergebnissen der Expertenempfehlungen. Erst bei diesem Vergleich der Planung werden dem Lernenden Fehler aufgezeigt, die auch während einer realen Planung und Operation nicht sofort auffallen, z.B.:

- Bei der Positionierung der Resektionsebene wird der vorher definierte Sicherheitsrand (2, 5 oder 10 mm) unterschritten.
- Bei einer Resektion oder Ablation unterschreitet das Volumen des verbleibenden Leberparenchyms die minimale Grenze.
- Bei der Ablation ist das Volumen des zerstörten Gewebes geringer als das des Tumors plus Sicherheitsrand.

Im Gegensatz dazu würde die Verletzung oder Durchtrennung großer Gefäße sofort auffallen. Deshalb wird in diesem Fall einsatzsynchrones Feedback geliefert.

Einsatzsynchrone Informationen

Die Lernenden bekommen in verschiedenen Hilfemodi Hinweise zur Ausführung mit unterschiedlichem Grad an Unterstützung. Die höchste Unterstützung bei der Bearbeitung eigener Aufgaben wird bei der *geführten Tour* geliefert. Die Lernenden werden durch die Bearbeitung eines Falls geleitet. Es werden ihnen in jedem Schritt programmspezifische Anweisungen gegeben. Das schließt zum einen die Beschreibung der auszuführenden Aktionen und der dazu notwendigen Bedienelemente ein und zum anderen Erklärungen zur Reihenfolge und Notwendigkeit der Bearbeitungsschritte.

Im Modus der *automatischen Hilfen* werden den Lernenden, die mehr Erfahrung haben, Bearbeitungshinweise mit Beschreibungen komplexer Aktionen nur noch vor jedem Bearbeitungsschritt (z.B. Diagnose, Resektion, ...) präsentiert. Bei der Verletzung einer Regel mit unmittelbaren Auswirkungen sollen automatisch Warnungen mit Erläuterungen des Fehlers an den Lernenden ausgegeben werden. Das ist bei der Verletzung großer Gefäße, der Gallengänge oder anderer Organe der Fall. Bei ausgeschalteten Hilfemodi kann Hilfe jederzeit *manuell angefordert* werden, um Unterstützung zu bekommen.

Das Ziel für die Lernenden sollte sein, die Planung nur mit Hilfe der Rückmeldungen des Systems ausführen zu können, die in den Planungssystemen im klinischen Einsatz existieren. Die Hilfen des Trainingssystems sollten möglichst nicht genutzt werden.

6.3.6 Personalisierung des Trainings

Die Lernenden können durch die Berücksichtigung individueller Präferenzen und Gewohnheiten bei ihrem Training mit dem LIVERSURGERYTRAINER unterstützt werden. Im Folgenden wird auf einige Ideen eingegangen, den LIVERSURGERYTRAINER adaptiv zu gestalten. Voraussetzung für alle Aspekte der Personalisierung ist die Authentifizierung der Lernenden und die Speicherung ihrer Einstellungen und der bearbeiteten Fälle.

Allgemeine Einstellungen

Für jeden Lernenden sollte der gewählte Hilfemodus gespeichert werden, damit er bei jedem Training unverändert zur Verfügung steht. Für die 3D-Visualisierungen können individuelle Standardansichten sowie andere Parameter der Visualisierung (z.B. angezeigte Strukturen, Farben, Transparenzen) oder der Animationen gespeichert werden. Auch die Beschriftungen der 3D-Modelle oder Schichtbilddaten können in Abhängigkeit von den sichtbaren Strukturen automatisch generiert werden [Preim u. a., 1998].

Trainingsfälle

Der Nutzer hat die Möglichkeit, eine Sammlung interessanter Fälle zusammenzustellen, die er im Verlauf des Trainings bearbeiten möchte. Eine Alternative hierzu ist die Erstellung einer automatischen Auswahl geeigneter Fälle für das Training. Diese Liste kann auf Basis von Benutzerangaben zur Qualifikation angelegt werden. Zu jedem Fall kann der Nutzer einen individuellen Kommentar verfassen, um sich beispielsweise an Besonderheiten des Falls zu erinnern oder Schwierigkeiten zu vermerken, die bei der Bearbeitung des Falls aufgetreten sind. Der Bearbeitungsstatus jedes Falls wird gespeichert, so dass er zu einem späteren Zeitpunkt wieder aufgerufen und weiter bearbeitet werden kann. Die Lernenden können bei der Auswahl von Trainingsfällen unterstützt werden, indem nach Abschluss eines Falls ähnliche Fälle für das weitere Training vorgeschlagen werden.

Die Personalisierung des Trainings kann gesteigert werden, wenn während der Bearbeitung in der Fallbeschreibung auf bereits trainierte Fälle eingegangen wird. Beispielsweise kann in der Beschreibung auf „den Fall von gestern“ eingegangen werden, oder es werden Hinweise geliefert, die Unterschiede zwischen zwei Fällen herausstellen: „im Gegensatz zum Fall XY, den Du schon trainiert hast, ist hier Folgendes zu beachten ...“.

Expertenempfehlungen

Die Detailliertheit der Expertenempfehlungen kann an den Wissensstand des Lernenden angepasst werden. Erfahrene Chirurgen besitzen mehr Vorwissen als Assistenzärzte und benötigen daher in den Empfehlungen weniger Begründungen für das Vorgehen der Experten und keine Verweise auf die Grundlagen. Existieren für die Trainingsfälle jeweils mehrere Expertenmeinungen, kann die Definition eines Standardexperten, der z.B. am ehesten der chirurgischen Vorgehensweise in der Klinik des Lernenden entspricht, durch den Nutzer sinnvoll sein.

6.4 Evaluierung des LIVERSURGERYTRAINERS

Im Verlauf der Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINERS wurden mehrere Evaluierungen durchgeführt. Der erste Prototyp wurde im Rahmen einer formativen Evaluierung getestet und die Ergebnisse in die weitere Entwicklung einbezogen. Vor der summativen Evaluierung wurde ein informeller Test des überarbeiteten Prototyps vorgenommen.

6.4.1 Formative Evaluierung eines ersten Prototyps

Die formative Evaluierung diente zur Identifikation von Schwachstellen in der Bedienung und im Trainingsablauf sowie zur Festlegung von Prioritäten für die weitere Entwicklung [Cordes u. a., 2007b].

Ablauf

Bei den Testpersonen handelte es sich um erfahrene Viszeralchirurgen. Diese verfügen über umfangreiches anatomisches sowie chirurgisches Wissen und besitzen vielfältige chirurgische Erfahrungen, die die Planung von Eingriffen an der Leber einschließen. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass sie sich stärker als Ärzte in der Ausbildung, auf die für die erste Evaluierung des LIVERSURGERYTRAINERS relevanten Aspekte, wie den Workflow, die Bedienung, die medizinischen Inhalte und den didaktischen Aufbau, konzentrieren können. In einem fortgeschrittenen Stadium der Entwicklung werden die zukünftigen Anwender in einer weiteren Evaluierung einbezogen.

Für den Test wurden in den Prototyp des Trainingsprogrammes zwei Trainingsfälle integriert. Es handelte sich um einen onkologischen Fall (CCC im rechten Leberlappen) und um die Spenderevaluierung für eine Kinderleberlebendspende. Für die Evaluierung wurde der LIVERSURGERYTRAINER auf einer DVD an die Testpersonen verschickt. Es wurden detaillierte Anleitungen zur Installation, zur Bedienung und zur Bearbeitung der Fälle zur Verfügung gestellt. Da aus logistischen Gründen eine vorausgehende Schulung nicht realisierbar war, erhielten die Testpersonen als Unterstützung Anleitungen zur Bearbeitung zweier Fälle, die auf den für das Design des LIVERSURGERYTRAINERS entwickelten Szenarien basieren.

Im Anschluss an die Bearbeitung eines oder beider Fälle sollten die Testpersonen das Programm bewerten. Die Bewertung des Gesamtsystems wurde in die folgenden Bereiche untergliedert:

- Nutzung und Nutzen computergestützter Operationsplanung sowie des Trainings
- Allgemeine Bewertung des LIVERSURGERYTRAINERS (Eignung, Bedienung)
- Verwendete Terminologie
- Rückmeldung, Wartezeiten und aufgetretene Fehler
- Erlernbarkeit
- Ideen für die weitere Entwicklung (freie Wünsche, simulierter intraoperativer Ultraschall, Annotationen in 2D und 3D)

Um die Ergebnisse dennoch so aussagekräftig wie möglich zu gestalten, wurde die Fragebogenentwicklung auf Basis des ISONorm 9241/10 Fragebogens durchgeführt. Außerdem orientierte sich die Gestaltung an einschlägigen Richtlinien [Shneiderman u. Plaisant, 2009]. Der Fragebogen wurde nicht durch Standardisierung, Eichung und Tests mit einer großen Stichprobe professionell konzipiert. Damit ist die Objektivität, Reliabilität und Validität der Ergebnisse nicht sichergestellt. Das Ziel der Evaluierung war aber auch keine statistische Auswertung, sondern die Ermittlung eines Trends, ob das Trainingssystem auf Interesse und Akzeptanz stößt und für Chirurgen einfach zu bedienen ist.

Bei jeder Frage bestand die Möglichkeit, optionale Kommentare zu vermerken. Der Fragebogen sollte von den Testpersonen online ausgefüllt werden. Alternativ wurde jeder DVD auch ein Fragebogen in Papierform beigefügt. Die jeweiligen Bewertungen wurden in einer MySQL-Datenbank verwaltet.

Analyse der Testpersonen

Es erklärten sich 32 Chirurgen zur Teilnahme am Test bereit. Die Fragebögen wurden jedoch nur von elf männlichen und zwei weiblichen Chirurgen ausgefüllt. Zehn Testpersonen besitzen mehr als fünf Jahre Erfahrung auf dem Gebiet der Chirurgie. Die Erfahrungen in der Leberchirurgie sind dagegen sehr heterogen. Bis auf eine Ausnahme schätzen die Testpersonen ihre Erfahrungen mit dem Computer als gut bis sehr gut ein. Ihre Erfahrungen im Umgang mit 3D-Modellen sind ungleich ausgeprägt. Die Vertrautheit mit computergestützter Operationsplanung ist durchschnittlich zu bewerten. Bei drei Viertel der Befragten wird die Operationsplanung von der Klinik genutzt (als externe Dienstleistung), bei der Hälfte sogar in der Klinik selbst durchgeführt. Die mit dem Computer geplanten Fälle umfassen komplexe Leberresektionen und Leberlebendspenden. Zwei Drittel der befragten Personen sind der Meinung, dass die Computerunterstützung bei der Operationsplanung erhebliche Vorteile bringt, der Rest sieht schwachen bis gar keinen Nutzen. Die Notwendigkeit des Trainings der Planung wird als hoch eingeschätzt.

Allgemeine Bewertung und Bewertung der Benutzeroberfläche

Der LIVERSURGERYTRAINER wurde (Skala 1 (sehr gut) - 7 (sehr schlecht)) mit gut bis befriedigend (2,6) bewertet und seine Eignung für das Training der Planung onkologischer Eingriffe sowie von Leberlebendspenden mit gut bestätigt. Damit stellt der aktuelle Stand des Systems eine gute Basis für die weitere Entwicklung dar.

Die Bedienbarkeit wurde als befriedigend eingeschätzt. Hier liegt großes Potential für die Weiterentwicklung. Die Testpersonen haben eine stärkere Führung durch das Training und eine Benutzeroberfläche gefordert, bei der viele Informationen und Funktionen erst auf Anforderung eingeblendet werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt um die Akzeptanz des Trainingssystems zu erhöhen, ist die Verbesserung der Performance und der Rückmeldungen. Die Wartezeiten, die bei der Bearbeitung eines Falls an einigen Stellen entstehen, wurden als zu lang beurteilt. Beispielsweise wurden lange Wartezeiten beim Laden der CT-Daten und bei der Berechnung des Resektionsvolumens dokumentiert. Hier besteht noch großer Verbesserungsbedarf. Auch Rückmeldungen des Programms bei längeren Ladevorgängen und Berechnungen sind nicht ausreichend vorhanden.

Bewertung des Lernaufwands

Die Erlernbarkeit der Bedienung des LIVERSURGERYTRAINERS wurde mit vertretbarem mittlerem Zeitaufwand (3,3; Skala 1 (gering) -7 (sehr hoch)) als insgesamt leicht bis mittelschwer (2,4) gewertet. In den Bereichen Lernaufwand und Erlernbarkeit besteht demnach noch Optimierungsbedarf. Die Aussagen bestätigen allerdings das zugrundeliegende Konzept des Programms.

Als problematisch wurde das Einzeichnen der virtuellen Resektionsfläche empfunden. Das genutzte Verfahren ist teilweise nicht intuitiv und daher für ein Trainingssystem nur bedingt geeignet. Für zukünftige Versionen des LIVERSURGERYTRAINERS sollen deshalb neue geeignete Methoden für die virtuelle Resektion entwickelt werden.

Bewertung der Ideen für die weitere Entwicklung

Die Ideen für die weitere Entwicklung wurden positiv bewertet. Der simulierte intraoperative Ultraschall wurde teilweise als eingeschränkt hilfreich und für eine Planung nicht unbedingt notwendig eingeschätzt. Die Annotationen für anatomische Strukturen wurden ausdrücklich gewünscht und als sehr hilfreich bewertet. Die Meinungen über die Notwendigkeit gehen allerdings auseinander. Einige Testpersonen hielten Annotationen bei 3D-Modellen für sehr sinnvoll („ja, 3D ist immer schwerer“). Ein anderer Chirurg war der Meinung, dass die Anatomie in 3D in den meisten Fällen offensichtlich ist.

6.4.2 Informelle Evaluierung des überarbeiteten Prototyps

Vor der abschließenden Evaluierung des LIVERSURGERYTRAINERS sollte eine Zwischenevaluierung der überarbeiteten Version stattfinden. Auf diese Weise sollte vermieden werden, dass in der summativen Evaluierung vermeidbare Probleme bei der Bedienung auftreten. Mögliche Probleme sind aus Entwicklersicht unter Umständen nicht offensichtlich, beeinflussen oder behindern den Trainingsprozess aber stark. Durch Korrekturen im System oder an der Benutzeroberfläche können die Ergebnisse der summativen Evaluierung verbessert werden.

Als Testperson wurde Prof. Oldhafer ausgewählt. Er war zu diesem Zeitpunkt der Chefarzt der Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Thoraxchirurgie sowie der klinische Direktor des Allgemeinen Krankenhauses Celle. Sein Spezialgebiet ist die Leberchirurgie. Für besonders schwierige Eingriffe und Grenzfälle werden in seiner Klinik CT-Aufnahmen für eine computergestützte Operationsplanung zu MEVIS DISTANT SERVICES geschickt. Aus diesem Grund ist Prof. Oldhafer mit der Computerunterstützung der Planung und den dafür genutzten 3D-Modellen vertraut. Er stellte für die Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINERS als medizinischer Partner viele onkologische Trainingsfälle zur Verfügung. Er ist als Testperson für die Benutzeroberfläche des Trainingssystems gut geeignet, weil er über umfangreiches Expertenwissen im chirurgischen Bereich verfügt und sich deshalb auf die Bedienung und ihre Schlüssigkeit konzentrieren kann.

Die Evaluierung wurde nicht unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt. Eine unmittelbare Diskussion von Problemen oder Unklarheiten zwischen der Testperson und den Entwicklern war ausdrücklich erwünscht. Das lenkte den Tester von seiner Aufgabe ab. Da es bei diesem Test nicht um die Erhebung quantitativer Daten für eine statistische Auswertung ging, spielte das eine untergeordnete Rolle. Viel wichtiger war der Vorteil, dass bei dieser Vorgehensweise die Probleme, die diskutiert werden sollten, auf dem Bildschirm noch sichtbar waren. So konnten viele Punkte als Missverständnisse aufgedeckt und besprochen werden. Gleichzeitig konnten gemeinsam Verbesserungsmöglichkeiten, die in vielen Fällen leicht umsetzbar waren, z.B. Umbenennungen oder Layoutänderungen, identifiziert werden. Die Gefahr bei dieser Herangehensweise ist, dass Änderungen auf der Basis von Anmerkungen einer Person unreflektiert umgesetzt werden. Deshalb ist eine ausführliche Diskussion der Änderungen, auch unter den Entwicklern und im Zweifelsfall mit anderen Nutzern, unbedingt notwendig.

Für der Ablauf wurden keine Zeitvorgaben gemacht. Die Evaluierung, inbegriffen aller Diskussionen, dauerte zwei Stunden. Sie wurde im Büro von Prof. Oldhafer an einem Notebook durchgeführt, auf dem das Trainingsprogramm vorher installiert und seine Lauffähigkeit getestet wurde. Neben Prof. Oldhafer waren die Entwickler des Programms anwesend. Es wurden schriftliche Protokolle des Tests sowie Videoaufnahmen angefertigt.

Der Ablauf der Evaluierung wird im Folgenden in Form einer Fallstudie beschrieben. Dabei wird auf die Aktionen, Kommentare und Erklärungen des Testers eingegangen. Außerdem werden die Hilfestellungen der Entwickler sowie Diskussionen, deren Ausgang und die Konsequenzen für den LIVERSURGERYTRAINER beschrieben.

Abbildung 6.20: *Prof. Oldhafer beim Test des* LIVERSURGERYTRAINERS.

Einführung:

- Weil der Tester die vorangegangene Version des Systems kennt, erklärt Entwickler 1 die grundlegenden Neuerungen des LIVERSURGERYTRAINERS. Dabei geht er kurz auf den Startbildschirm und die Fallauswahl ein und betont die neue Abfolge und die bessere Führung durch die Trainingsschritte, welche die Hauptkritikpunkte der ersten Version waren. Er weist außerdem darauf hin, dass sich im rechten Bereich der Benutzeroberfläche die Hilfe befindet, die Informationen und Ausführungshinweise zum jeweiligen Schritt liefert.
- Entwickler 1 wählt den Fall *Ulrike Petersmann, Karzinom in Lebersegment IV-VIII* für den Test aus. Der Fall besitzt die meisten Daten und ist deshalb gut geeignet, um möglichst viele Situationen abdecken und besprechen zu können.
- Nach einer Erläuterung des Übersichtsbildschirms der Trainingsschritte geht Entwickler 1 auf die unveränderte Präsentation der Anamnese ein und überlässt nun dem Tester die Bedienung des Programms.
- Prof. Oldhafer testet zunächst die Navigation durch die einzelnen Schritte über die Buttons *Previous Step* und *Next Step*. Er wählt dann den Schritt *Examinations* aus.

Trainingsschritt *Examinations*:

- Dem Tester ist nicht klar, was er hier tun muss, um die Bilddaten zu sehen. Entwickler 1 erklärt ihm, dass hier Bilddaten, wie z.B. Ultraschallbilder angezeigt werden, wenn sie für den jeweiligen Fall vorliegen. Im aktuellen Fall gibt es allerdings keine. Daraufhin fragt der Tester, ob die CT-Daten im Schritt *Medical Imaging* zu sehen sind. Für ihn sind die Bezeichnungen *Examinations* und *Medical Imaging* verwirrend, weil die Bezeichnung Medical Imaging auch Röntgen und andere bildgebende Verfahren beinhaltet. Er schlägt eine Umbenennung von *Medical Imaging* in *Planning-CT* vor.
- Außerdem erklärt er, dass Blutwerte wichtig für eine OP-Entscheidung sind und diese bei den Untersuchungen aufgeführt sein sollten. Er nennt die für eine Beurteilung der Leberfunktion wichtigen Werte: Bilirubin, Quickwerte, Leberenzyme, Gerinnungsfaktoren und CHE.
- Aufgrund dieser zusätzlichen Informationen hält er eine Unterteilung der Untersuchungen in Bildgebung und Blutwerte (*Blood Laboratory*) für sinnvoll.
- Prof. Oldhafer sagt zu, dass er die Blutwerte für die bereits in den LIVERSURGERYTRAINER integrierten Fälle zur Verfügung stellt.

Trainingsschritt *Medical Imaging*:

- Im folgenden Schritt liest der Tester sich zunächst genau die Beschriftung des Buttons zum Anzeigen der Schichtbilddaten und relevanten Schichten durch. Er klickt ihn an und schaut sich die Optionen des Viewers an (drei Buttons unter dem Viewer).
- Er wählt den ROI-Wechsel aus und fragt sich, warum der Button unter dem Viewer nicht sofort den Wechsel auslöst. Über den *Back* Button verlässt er diesen Schritt, wählt nun die *Viewer Setting*s aus und verlässt auch diese wieder. Anschließend sagt er, dass das schwer zu verstehen und nicht selbsterklärend sei. Er erwartet beim Betätigen des Buttons zum Wechsel der ROI einen direkten Wechsel der ROI im Viewer und keine zusätzliche Auswahlmaske, die dann auch noch über einen weiteren Button nach der Auswahl wieder verlassen werden muss. Entwickler 1 und Entwickler 2

bemerken, dass dieser direkte Wechsel bei 3 Datensätzen möglicherweise schwierig ist.

Die Evaluierung muss für eine halbe Stunde unterbrochen werden, weil Prof. Oldhafer einen Termin mit einem Patienten hat.

- Nach dem Beenden dieser Diskussion schaltet der Tester zum nächsten Schritt um. Er benötigt etwas Zeit um zu verstehen, dass in diesem Schritt in den Schichtbilddaten relevante Schichten angesprungen werden können, zu denen es Beschreibungen eines Experten gibt. Er kritisiert auch die mangelnde Überschrift über der Liste mit den Schichten. Er klickt anschließend in der Liste einen Eintrag an und kommentiert: „Jetzt kapier ich das erst, das ist ja richtig gut!“. Er hat erst jetzt verstanden, dass durch eine Selektion in der Liste der Datensatz mit der entsprechenden Schicht angezeigt wird. Er schlägt als Listenüberschrift *Point of Interest* vor.
- Anschließend erläutert er seine Probleme. Er erklärt, dass diese Liste mit Bildern und der Beschreibung für einen in einem Krankenhaus arbeitenden Mediziner irreführend ist. Denn für sie impliziert diese Liste mit Icons, dass durch deren Auswahl ein neuer Datensatz geladen wird. Er erklärt nochmal, was er verstanden hat und ob er die Absicht der momentanen Konzeption richtig interpretiert. Ihm ist nun alles klar und er meint, er findet das gut. Allerdings müssen aussagekräftige Überschriften eingefügt werden und die Bilder sollten weggelassen bzw. durch Symbole (Tumor, Gefäß usw.) ersetzt werden. Er denkt, dass so die Verwechslungen der Funktion der Liste mit ähnlichen Darstellungen in medizinischen Workstations vermieden werden.
- Er betrachtet den Startbildschirm und findet die Anordnung des Befundes und der CT-Beschreibung ungünstig. Weil die beiden Aspekte eine hierarchische Beziehung zueinander haben, sollten sie besser untereinander angeordnet sein.

Trainingsschritt *Treatment Planning - Anomalien*:

- Er wechselt in den Planungsschritt und wählt die Bewertung der Leberanatomie aus. Hier weiß er zunächst nicht, was er machen soll. Entwickler 1 erklärt, dass in diesem Schritt die Beurteilung der Lebergefäße und

möglicher anatomischer Variationen vorgenommen werden soll. Der Tester schlägt einen prominenten Hinweis vor.

- Um den Benutzern deutlich zu machen, dass im Schritt der Planung eine bestimmte Reihenfolge der Bearbeitung der Teilschritte eingehalten werden muss, schlägt der Tester eine Nummerierung der Buttons des Startbildschirms vor.
- Entwickler 2 fragt, ob es wichtig ist, den Lernenden den Schritt der Resektionsplanung zu verwehren, bis sie die Anatomie bewertet haben. Prof. Oldhafer findet diese Idee gut und schlägt einen Hinweis vor, wenn die Anatomie nicht beurteilt wurde. Es sollte aber auch die Möglichkeit geben, auf Wunsch zur Resektionsplanung zu gelangen.
- Prof. Oldhafer fängt nun mit der Bewertung an, scrollt durch die Schichten und wundert sich über die Overlays, die als Unterstützung zur Auffinden der Strukturen dienen sollen. Er meint, dass das erklärt werden sollte und die Anzeige der Overlays optional durch den Nutzer erfolgen sollte. Eine Farblegende, die die Zuordnung der Farben zu den Strukturen zeigt, ist unerlässlich.
- Der Tester öffnet die *Viewer Settings* und betrachtet die Liste zum Ein- bzw. Ausblenden der Strukturen. Ihm ist nicht klar, dass er mit dem Häkchen in der Strukturliste die Strukturen sichtbar schaltet. Auch hier ist eine Überschrift notwendig, die das beschreibt. Die Änderung der Farbe der Strukturen ist aus seiner Sicht nicht notwendig.
- Nachdem er sich die interessierenden Strukturen eingeblendet hat, schaut sich Prof. Oldhafer die 3D-Ansicht an und schätzt sie als sehr wichtig für die Anatomiebewertung ein.

Trainingsschritt *Treatment Planning - Planung*:

Es tritt unerwartet ein Fehler auf. Der Mauszeiger hat im Viewer der Schichtbilder den falschen Modus. Entwickler 3 behebt den Fehler und die Bearbeitung wird im Resektionsplanungsschritt fortgesetzt.

- Prof. Oldhafer zeichnet die Resektionslinien, blendet sich zusätzliche Strukturen ein und zeichnet weiter. Es tritt ein weiteres Problem auf. Der

Viewer springt beim Zeichnen ab und zu in eine andere Schicht. Der Fehler kann vor Ort nicht behoben werden. Das bringt den Tester aber nicht aus der Ruhe.

- Prof. Oldhafer hat das Zeichnen der Resektionslinien beendet und klickt *Cancel Resection*. Die Planung ist damit abgebrochen und unwiderruflich verloren. Er gibt zu, nicht richtig gelesen zu haben. Allerdings befindet sich dieser Button an der Stelle, an der sich in den anderen Schritten die Buttons zur Navigation platziert sind. An dieser Stelle muss das Layoutkonzept überdacht werden. Außerdem sollte es in Fällen des Abbruchs eine Sicherheitsabfrage geben.
- Der Tester zeichnet motiviert nochmal die Resektionslinien ein. Entwickler 1 erklärt, dass er nicht so viele Linien zeichnen muss, wie beim ersten Versuch. Nur die kritischen Stellen sind wichtig, der Rest wird interpoliert.
- Im Anschluss generiert Prof. Oldhafer die Resektionsebene über den entsprechenden Button. Danach muss das zu entfernende Lebervolumen markiert werden. Der Tester liest allerdings nicht die Anweisungen und will die Resektionslinien verschieben und setzt dabei den Marker für das Resektionsvolumen. Durch die Beschriftung am Marker versteht er diesen Schritt, markiert das Resektionsvolumen korrekt und löst die Volumenberechnung aus.
- Nun kann er der die Linien korrigieren und freut sich sehr über die eingesparten 50 ml Lebervolumen. Er betrachtet das Ergebnis in 3D und speichert die Planung nun korrekt.

Trainingsschritte *Analyse* & *Post-OP*:

- Den Analyseschritt bewertet er als gut. Allein bei der textuellen Analyse schlägt er Umbenennungen der Teilbereiche in *Your Results*, *Anatomy* und *Resection Strategy* vor.
- Er wechselt in den letzten Trainingsschritt und liest sich die dort vorhandenen Dokumente zum operativen und postoperativen Verlauf durch. Er schaut sich die OP-Fotos an und kommentiert sie. Auch diesen Schritt beurteilt er als gut.

Im abschließenden Gespräch betont Prof. Oldhafer wiederholt, dass die neue Version deutliche Verbesserungen aufweist. Er sieht bis auf die besprochenen kleineren Verbesserungsvorschläge keinen weiteren Überarbeitungsbedarf. Es müssen vor allem weitere Fälle integriert werden.

Alle identifizierten Schwachstellen und die Verbesserungsvorschläge wurden in den Diskussionen als plausibel befunden. Alle Probleme ließen sich kurzfristig beheben. Nach den Korrekturen wurde der LIVERSURGERYTRAINER der summativen Evaluierung unterzogen, die im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

6.4.3 Summative Evaluierung

Die summative Evaluierung des LIVERSURGERYTRAINERS wurde, um eine Vergleichbarkeit sicherzustellen, in Anlehnung an die formative Evaluierung durchgeführt. Es sollte untersucht werden, ob die Neugestaltung des Trainingssystems auf Basis der Ergebnisse der formativen Evaluierung zu einer besseren Bewertung und Akzeptanz führt.

Um eine einfache Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden der Fragebogen der ersten Evaluierung als Grundlage genutzt. Einige für diese Evaluierung unwichtige Fragenblöcke wurden herausgenommen. Stattdessen wurden Fragen zum Vergleich des Prototyps der vorangegangenen Evaluierung und der finalen Version gestellt. Einige Teilnehmer der Evaluierung haben bereits den ersten Prototyp getestet. Der erste Test liegt bereits mehrere Jahre zurück. Die Antworten auf diese Fragen müssen deshalb unter Berücksichtigung dieser Tatsache bewertet werden. Sie ermöglichen einen Vergleich der allgemeinen Bewertungen beider Systeme und der subjektiven Einschätzungen durch die Testpersonen. Es wird ein allgemeiner Vergleich beider Systeme erfragt und anschließend auf die in der ersten Evaluierung kritisch beurteilten Aspekte vergleichend eingegangen. Als verbesserungswürdig wurden beim ersten Test die Wartezeiten, die Eindeutigkeit der Bedienung sowie die Erlernbarkeit eingestuft.

Erste Ergebnisse der Evaluierung

Bei Fertigstellung dieser Arbeit lagen die Evaluierungsergebnisse von vier Testpersonen vor. Diese Anzahl lässt keine zuverlässige Bewertung des Systems zu. Sie erlaubt dennoch vorläufige Aussagen über allgemeine Tendenzen bei der Einschätzung der finalen Version des LIVERSURGERYTRAINERS (Version 2.0) im Vergleich zur ersten Version (Version 1.0).

Die Testpersonen sind männlich und kommen aus dem medizinischen bzw. chirurgischen Bereich. Unter ihnen befand sich ein Experte für die medizinische Bildanalyse. Alle Chirurgen besitzen mehrere Jahre Erfahrung auf dem Gebiet der Chirurgie und Leberchirurgie. Ihre Computererfahrung variiert stark. Eine Testperson besitzt keine Erfahrung mit der computergestützten Operationsplanung bzw. im Umgang mit 3D-Modellen. Die anderen geben an, bereits einige Erfahrungen gesammelt zu haben.

Die neue Version des LiverSurgeryTrainers wurde (Skala 1 (sehr gut) - 7 (sehr schlecht)) mit 1,5 bewertet. Das stellt im Vergleich zur Vorgängerversion, die mit 2,6 bewertet wurde, eine deutliche Verbesserung dar. Verbesserungen gibt es ebenfalls im Bereich der Bedienung des Systems (Version 1.0: 3,2; Version 2.0: 2,2), der Rückmeldungen (Version 1.0: 3,4; Version 2.0: 2,0) und der Wartezeiten (Version 1.0: 3,7; Version 2.0: 3,2). Die alte sowie die neue Version wurden beim Aspekt der Erlernbarkeit mit 2,5 eingeschätzt. Die Bewertung des zeitlichen Lernaufwands zeigt eine gegensätzliche Tendenz. Die neue Version des Systems wurde als zeitlich aufwendig zu erlernen bewertet (Version 1.0: 3,3; Version 2.0: 4,2).

Zwei Testpersonen haben bereits an der formativen Evaluierung der ersten Version des Trainingssystems teilgenommen und bestätigen ohne Einschränkung, dass die zweite Version deutlich verbessert wurde. Sie bewerteten die Verbesserung der zweiten Version in allen zu vergleichenden Aspekten (Wartezeiten, Bedienung und Erlernbarkeit) jeweils mit der höchsten Note.

Unter Berücksichtigung der sehr geringen Anzahl an Testpersonen, lässt sich eine positive Entwicklung des LiverSurgeryTrainers erkennen. Für genauere und vor allem statistisch aussagekräftige Ergebnisse sind die Evaluierungen weiterer Testpersonen notwendig.

6.5 Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Kapitel wurde die Konzeption, Entwicklung und Evaluierung des LIVERSURGERYTRAINERS beschrieben. Der LIVERSURGERYTRAINER ist ein System für das Training der präoperativen Planung chirurgischer Eingriffe an der Leber. Nach einer Analyse der Systeme zur computergestützten Planung von Eingriffen an der Leber und verwandten Trainingssystemen wurde auf ausgewählte Aspekte der Konzeption eingegangen. Es wurde ausführlich die durchgeführte Analyse der Ausgangbedingungen und der Einsatz der Szenarien während der Konzeption beschrieben sowie die Umsetzung des didaktischen Modells verdeutlicht. Abschließend wurden Ausführungen zu durchgeführten Evaluierungen und ihren Ergebnissen gemacht. Die ersten Ergebnisse der summativen Evaluierung haben gezeigt, dass die Ergebnisse der formativen und informellen Evaluierung erfolgreich in die weitere Entwicklung des LiverSurgeryTrainers eingeflossen sind.

Für den geplanten Einsatz des LIVERSURGERYTRAINERS im Rahmen chirurgischer Kurse ist es notwendig, Strategien zur Eingliederung des Systems in die konventionellen Lehrpläne zu entwickeln. Weiterhin ist es besonders wichtig, dass eine detailliertere Bewertung des Lernerfolgs vorgenommen und der Anwender über seinen Lernfortschritt informiert wird. Dafür müssen für den Lernerfolg relevante Parameter bestimmt, Lernkurven ermittelt und ausgewertet werden.

7 Der SPINESURGERYTRAINER - Ein Trainingssystem für Orthopäden

Der SPINESURGERYTRAINER ist ein System zur Vermittlung anatomischer Kenntnisse, Therapiemöglichkeiten und Entscheidungskriterien für die Planung und das Training der Therapie im Bereich der Wirbelsäulenchirurgie. Die Erfahrungen bei der Konzeption und Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINERS sind in den Entwicklungsprozess dieses Systems eingeflossen. Um Redundanzen zum vorangegangenen Kapitel zu vermeiden, wird in den einzelnen Abschnitten nur auf Besonderheiten bei der Konzeption und Umsetzung des SPINESURGERYTRAINERS eingegangen.

7.1 Medizinischer Hintergrund

Die Wirbelsäule übernimmt die Hauptstützfunktion des Körpers. Bei Erwachsenen ist sie in vier Abschnitte untergliedert (Halswirbelsäule, Brustwirbelsäule, Lendenwirbelsäule, Sakralwirbelsäule) und besitzt vier Krümmungen. Diese Krümmungen, Lordose (konvexe Krümmung nach vorn) und Kyphose (konvexe Krümmung nach hinten) genannt, sorgen für eine Federung und sind im Verlauf der Evolution aufgrund der aufrechten Fortbewegung entstanden. Wirbelsäulenerkrankungen treten häufig an den Übergangsregionen der einzelnen Abschnitte auf. Die Wirbel an diesen Übergängen sind bei einigen Menschen atypisch ausgebildet und werden in diesen Fällen als Übergangswirbel bezeichnet. Im Bereich der Lendenwirbelsäule betrifft das häufig die Wirbel am Übergang zur Sakralwirbelsäule [Schünke u. a., 2005b].

Die Wirbelsäule besteht insgesamt aus 33 oder 34 einzelnen Wirbeln. Alle Wirbel, bis auf den 1. und 2. Halswirbel, sind im Wesentlichen gleich aufgebaut. Die Wirbel bestehen aus einem Wirbelkörper (Corpus vertebrae), einem Wirbelbogen (Arcus vertebrae), einem Dornfortsatz (Processus spinosus), zwei Querfortsätzen (Processus transversi bzw. costales) und vier Gelenkfortsätzen (Processus articulares). Die Muskeln und Bänder setzen an den Fortsätzen an. Der Zwischenraum, den die Wirbelkörper und die Wirbelbögen bilden, wird Wirbelloch genannt. Alle Wirbellöcher bilden den Wirbelkanal, in dem sich geschützt das Rückenmark befindet. Die Wirbel unterscheiden sich in ihrer Größe und einigen Merkmalen. Beispielsweise werden die Wirbelkörper von oben nach unten hin größer, um der durch das Körpergewicht

wachsenden Belastung standhalten zu können. Das Rückenmark wird nach unten hin schmaler, deshalb werden auch die Wirbellöcher immer kleiner [Schünke u. a., 2005b]. In der Längsrichtung geben drei Bänder der Wirbelsäule halt. Das vordere Längsband (Ligamentum longitudinale anterius), das hintere Längsband (Ligamentum longitudinale posterius) sowie das Dornspitzband (Ligamentum supraspinale), welches die Spitzen der Dornfortsätze verbindet [Leutert u. Schmidt, 1999].

Die *Halswirbelsäule* (HWS) besteht aus sieben Wirbeln, wobei die ersten beiden Wirbel (Atlas und Axis) stark vom Grundbauplan abweichen. Ihr Aufbau ermöglicht das Tragen der Last des Kopfes sowie die Bewegung des Kopfes mit drei Freiheitsgraden. Die nach oben gerichteten Flächen der Querfortsätze weisen ab dem dritten Halswirbel eine Rinne auf, in der der Spinalnerv seitlich aus dem Rückenmark nach außen tritt.

Die *Brustwirbelsäule* (BWS) besteht aus zwölf Wirbeln, die in Richtung der Lendenwirbelsäule deutlich höher und breiter werden. Die Wirbelkörper und die Querfortsätze besitzen Gelenkflächen, an denen die Rippen ansetzen.

Die *Lendenwirbelsäule* (LWS) wird von fünf Wirbeln gebildet. Die Wirbelbögen sind sehr stark ausgebildet, die Wirbellöcher fast dreieckig und der Dornfortsatz abgeplattet.

Das Kreuzbein (Os Sacrum) besteht aus fünf Kreuzbeinwirbeln, die nach der Geburt zu einem einheitlichen dreieckig aussehendem Knochen verwachsen. Eine keilförmige Zwischenwirbelscheibe verbindet das Kreuzbein mit der Lendenwirbelsäule. Die Kreuzbeinspitze wiederum ist mit dem Steißbein (Os coccygis) verbunden, das aus drei bis vier Wirbelrudimenten besteht [Schünke u. a., 2005b].

Zwischenwirbelscheiben (Bandscheiben, Disc intervertebralis) verbinden die Wirbel der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule. Sie bestehen aus einem äußeren Faserring (Anulus fibrosus) und einem Gallertkern (Nucleus pulposus), der nicht im Zentrum liegt, sondern etwas nach hinten verschoben ist. Der Gallertkern verleiht dem Faserring Zugspannung. Die Fasern wiederum verhindern große Lage- oder Volumenänderungen des Kerns. Die Zwischenwirbelscheiben nehmen Druck auf, fangen ihn ab und ermöglichen in geringem Maß die Bewegung der Wirbelkörper gegeneinander. Im Lauf des Tages nimmt ihre Höhe aufgrund der Beanspruchung ab. Bei Entlastung quellen die Gallertkerne wieder auf und die Zwischenwirbelscheiben nehmen ihre Ausgangsform ein [Leutert u. Schmidt, 1999].

7.1.1 Erkrankungen der Wirbelsäule

Rückenschmerzen waren im Jahr 2008 die häufigste Ursache für eine lange Arbeitsunfähigkeit und verursachten im Jahr 2008 11,2% der Gesamtkrankheitskosten. Die Erkrankten wurden im Fall eines Bandscheibenschadens im Schnitt 32 Tage krankgeschrieben (Gesundheitsberichterstattung des Bundes www.geb-bund.de, Statistisches Bundesamt www.destatis.de).

Zwei Drittel der degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen treten im unteren Bereich der Lendenwirbelsäule auf [Krämer u. a., 2001]. Deshalb wird in diesem Abschnitt auf Erkrankungen eingegangen, die hauptsächlich in der lumbalen Wirbelsäule auftreten.

Diagnostik

Bei der Diagnosestellung kommen verschiedene bildgebende Verfahren zum Einsatz. Da die Symptomatik nicht immer mit dem morphologischen Befund der Bildgebung korreliert und die Symptomatik eines Bandscheibenvorfalls durch konservative Therapieformen verschwindet, wird bei nicht-akuten Symptomen erst später auf aufwendige Bildgebung (CT, MRT) zurückgegriffen.

Am häufigsten kommt die *Röntgen-Übersichtsaufnahme* zur differentialdiagnostischen Abklärung von Krankheitsbildern, die einem Bandscheibenleiden ähnlich sind, zum Einsatz. Es können außerdem degenerative Begleiterkrankungen erkannt werden. Ein Bandscheibenvorfall selbst kann mit Hilfe der Übersichtsaufnahme nicht diagnostiziert werden.

Für die Diagnose eines Bandscheibenvorfalls wird in den meisten Fällen eine *Computertomographie* erstellt. Die Schichten sollten dabei parallel zur Ebene der Bandscheiben aufgenommen werden. Für die Beurteilung der knöchernen Strukturen bietet die CT Vorteile gegenüber der MRT. Die Weichteilstrukturen lassen sich hingegen mit einer MRT besser beurteilen. Bandscheibengewebe und Verkalkungen können sicher differenziert werden, um alte von neuen Bandscheibenvorfällen zu unterscheiden.

Mit Hilfe der *Magnetresonanztomographie* lassen sich Alterungsvorgänge und Bandscheibenverlagerungen, die bisher möglicherweise ohne klinische Symptomatik verliefen, gut darstellen. Es können sagittale und koronare Darstellungen der gesamten Wirbelsäule aufgenommen werden. Neben der besseren Weichteildifferenzierung ist die fehlende ionisierende Strahlung ein entscheidender Vorteil. In der Mehrheit der Fälle ist eine MRT einer CT, einer Myelographie (Röntgenaufnahme nach Kontrastmitteleinspritzung in den Wirbelkanal) und einem Myelo-CT (CT unter Gabe des Kontrastmittels) überlegen [Krämer u. a., 2001].

Protrusion, Prolaps und Degeneration

Durch eine Überbelastung der Wirbelsäule und damit auch der Bandscheiben können sich Risse im Faserring der Bandscheibe bilden, in die der Gallertkern eindringt und die äußeren Schichten des Faserrings nach außen verschiebt (*Protrusion* - Bandscheibenvorwölbung). Die Bandscheibe wölbt sich über die Wirbelkörperhinterkante und verursacht Schmerzen. Eine motorische Symptomatik fehlt allerdings. Eine Protrusion kann im Rahmen eines operativen Eingriffs in den meisten Fällen zurückverlagert werden [Hochschild, 2005].

Reißen auch die äußeren Schichten des Faserrings, kann der Gallertkern in Richtung des Spinalkanals oder der Nerven vordringen (*Prolaps* - Bandscheibenvorfall). Die Symptome, z.B. motorische Störungen und Schmerzen, sind abhängig von der Austrittsstelle des Prolaps [Hochschild, 2005].

Mit zunehmendem Alter kommt es zu einer Abnahme des Wassergehaltes und damit des Turgors (Wanddruck). Diese degenerativen Vorgänge führen zu einer Abnahme der Bandscheibenhöhe. Der Raum zwischen den Wirbelkörpern wird kleiner und es kommt zu einer Randzackenbildung (Spondolyphyten) an den Wirbeln [Schünke u. a., 2005b].

Spinalkanalstenose

Bei einer Spinalkanalstenose ist der Wirbelkanal eingeengt, was in vielen Fällen nicht zu Beschwerden führt. Eine Stenose liegt vor, wenn der Durchmesser 12 mm unterschreitet. Diese Einengungen können angeboren oder erworben sein, wobei die erworbenen Stenosen häufiger auftreten. Die Ursachen dafür können Bandscheibenverlagerungen, Traumata, abnorme Wirbelsäulenbelastung oder postoperative Narben sein. Das Wirbelgleiten ist eine häufige Ursache. Durch eine degenerative Lockerung der Bandscheiben können sich die Wirbel gegeneinander verschieben und den Spinalkanal einengen. Als Symptome können z.B. neurologische Ausfallerscheinungen, diffuse Schmerzen, Taubheitsgefühl und Schwäche in den Beinen auftreten [Krämer u. a., 2001].

7.1.2 Therapieformen

Es gibt eine Vielzahl an Therapiemöglichkeiten für Erkrankungen der Wirbelsäule, die jeweils stark vom individuellen Krankheitsbild und der allgemeinen physischen und psychischen Verfassung des Patienten abhängen. In diesem Abschnitt wird ein grober Überblick über die Therapieformen gegeben und auf die für das Trainingssystem relevanten Behandlungsmöglichkeiten eingegangen.

Konservative Behandlung

In vielen Fällen wird zuerst auf eine konservative Behandlung zurückgegriffen. Es wird zum Beispiel mit Hilfe von Akupunktur, Wärmeanwendungen, Krankengymnastik, Steroidinjektionen (cortisonähnliches Medikament zur Behandlung von Entzündungen) oder Flexionsorthesen (Stützkorsette) eine Verbesserung des Zustandes des Patienten angestrebt [Wirth u. a., 2004].

Offene Operationen

Wird eine Bandscheibenoperation an der lumbalen Wirbelsäule durchgeführt, erfolgt der Zugang dorsal. Dabei werden, falls notwendig, Teile des Wirbelbogens oder der ganze Wirbelbogen abgetragen. Bei einer Entfernung der Wirbelgelenke, partiell oder komplett, kommt es zu einer Instabilität der Wirbelsäule, die durch eine Fusionsoperation behoben werden muss. Dabei werden Implantate zwischen die Wirbel eingebracht oder die Wirbel mit Platten und

Schrauben verbunden. Die Fusionsoperation wird auch bei anderen degenerativen Erkrankungen der Wirbelsäule zur Wiederherstellung der Stabilität eingesetzt [Krämer u. a., 2001].

Minimalinvasive Eingriffe

Minimalinvasive Verfahren zur Behandlung von Bandscheibenvorfällen haben viele Vorteile. Im Vergleich zu offenen Verfahren werden die postoperative Narbenbildung und Instabilitäten der Wirbelsäule minimiert. Außerdem ist die Rehabilitationszeit der Patienten kürzer.

Injektionen kommen vor allem bei Kompressionen der Nervenwurzeln, lateralen Spinalkanalstenosen, Wurzelreizsyndromen und dem Postdiskotomiesyndrom (Schmerzen durch die Narbenbildung nach einer Bandscheibenoperation) im Rahmen einer Schmerztherapie und Desensibilisierung chronischer Nervenwurzelentzündungen zum Einsatz. Die Injektionen werden nahe der Nervenwurzeln gesetzt und können im Epiduralraum platziert werden (epidurale perineurale Inkjektion) oder durch einen Zugang im Foramen intervertebralis (posterolaterale perineurale Injektion) erfolgen. Es werden Lokalanästhetika oder Steroide injiziert. Die Injektion wird nach anatomischen palpatorischen Landmarken durchgeführt. In bestimmten Fällen werden, z.B. bei Patienten mit Adipositas oder Skoliosen, bildgebende Verfahren als Unterstützung eingesetzt (z.B. Sonographie, CT) [Krämer u. a., 2001].

Bei der *Chemonukleolyse* wird unter Röntgenkontrolle über einen lateralen Zugang ein Medikament in die Bandscheibe injiziert, das die Wasserbindungsfähigkeit der Bandscheibe herabsetzt. Dadurch vermindert sich der intradiskale Druck in der Bandscheibe um 30-40% und damit die Beschwerden des Patienten. Weil damit eine Verringerung der Bandscheibenhöhe verbunden ist, entsteht eine Instabilität des behandelten Wirbelsegments. Es findet keine Regeneration statt, allerdings führt die Bildung von fibrotischem Ersatzgewebe zu einer Wiederverfestigung der Bandscheibe [Lersmacher, 2002].

Bei der *perkutanen Nukleotomie* wird die Verminderung der Bandscheibendekompression angestrebt. Nach der Punktion der Bandscheibe wird der Zugang durch Dilatatoren nach und nach vergrößert, bis eine Arbeitskanüle eingebracht werden kann. Durch diese Kanüle kann mit Hilfe eines Endoskops und verschiedenen Zangen Nukleus- und Anulusgewebe entfernt oder abgesaugt werden, um die Bandscheibenvorwölbung zu reduzieren und damit den Druck auf die Nerven zu vermindern [Lersmacher, 2002].

Bei der mikroskopisch assistierten perkutanen Nukleotomie (*MAPN-Technik*) werden die Dilatatoren durch die Weichgewebe und die Fasern der wirbelsäulennahen Muskeln bis hin zur Bandscheibe eingeführt. Der Arbeitskanal besitzt einen Durchmesser von 0,9 cm durch den das OP-Gebiet für den Arzt nicht zu sehen ist. Er arbeitet auf der Basis mikroskopischer Bilder, die im Arbeitskanal von der Wirbelsäule aufgenommen werden [Greiner-Perth u. a., 2002].

7.2 Verwandte Arbeiten

In diesem Abschnitt wird auf ausgewählte Systeme für die Durchführung der Planung orthopädischer Eingriffe eingegangen. Anschließend werden Lernsysteme und Projekte beschrieben, die sich mit der Vermittlung von Anatomie oder Vorgehensweisen im Rahmen der Orthopädie beschäftigen.

7.2.1 Computergestützte Planung orthopädischer Eingriffe

Es existiert auch für den orthopädischen Bereich Software für die computergestützte Planung.

BRAINLAB IPLAN SPINE (www.brainlab.com) ermöglicht den Chirurgen im Vorfeld eines Eingriffs an der Wirbelsäule eine genaue Planung durchzuführen. Dafür können CT- und MRT-Bilddaten im Zusammenhang betrachtet werden. Das ist vor allem für die Tumorresektion von Bedeutung. Es kann der Einsatz mehrerer Schrauben, ihr Durchmesser und ihre Ausrichtung geplant werden. Dabei werden automatisch gefährdete Strukturen identifiziert.

Für die intraoperative Unterstützung bzw. Navigation bietet BRAINLAB ebenfalls eine große Auswahl an Systemen. Das System VECTORVISION TRAUMA wurde für die Navigation bei Knochenbruchbehandlungen und VECTORVISION SPINE NAVIGATION für die Navigation in der Wirbelsäulenchirurgie auf Basis präoperativer CT-Daten und intraoperativer Fluoroskopiebilder entwickelt.

ORTHOSIM (www.orthosim.com) bietet einen Simulationsservice, über den die Mediziner präoperativ Implantationseingriffe an der Lendenwirbelsäule simulieren lassen können. Dafür geben sie relevante Patientendaten ein, müssen Angaben zur Morphologie und Qualität der Knochen der Wirbelsäule machen sowie zur Pathologie des Patienten und zu möglichen Implantatvarianten. Basierend auf diesen Eingaben erfolgt die Simulation. Es kann auch eine vergleichende Simulation zwischen zwei Implantaten erfolgen. Die Ergebnisse sind biomechanische Daten, die in Form von Diagrammen, die das Implantat-Patientenverhalten sowie Referenzdaten für erfolgreiche oder gescheiterte Fälle, den Kunden zur Verfügung gestellt werden.

7.2.2 e-Learning in der Orthopädie

Der digitale Anatomieatlas INTERACTIVE KNEE - RADIOLOGY EDITION [Stoller u. a., 1999] bietet den Lernenden 3D-Rekonstruktionen des Knies (siehe Abbildung 7.1). Den Anatomieatlas gibt es noch für weitere orthopädische Anwendungsfelder, z.B. Schulter und Wirbelsäule. Die 3D-Modelle des Knies besitzen 14 Schichten, die nacheinander von der Haut bis zu den Knochen ein- und ausgeblendet werden können. Sie können in definierten Schritten in die anteriore bzw. posteriore Ansicht rotiert werden. Die einzelnen Strukturen sind beschriftet und bei Selektion werden ausführliche Informationen geliefert. Es gibt Erläuterungen zu

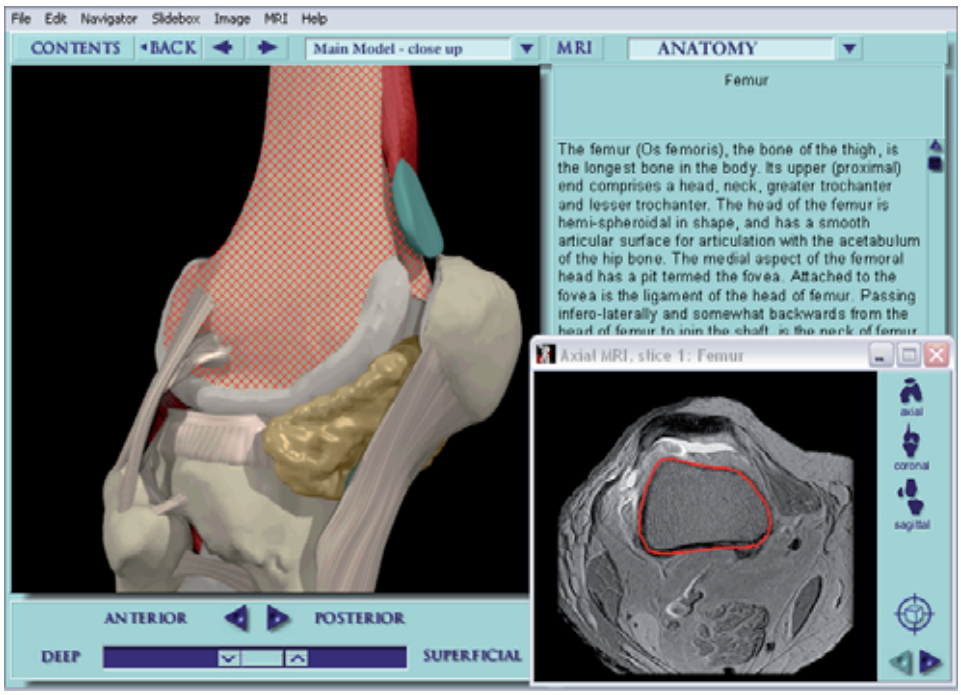


Abbildung 7.1: INTERACTIVE KNEE *[Stoller u. a., 1999] bieten den Benutzern 3D-Modelle der Strukturen des Knies.*

biomechanischen Zusammenhängen, chirurgischen Eingriffen und Implantaten, die mit 3D-Animationen, Röntgenaufnahmen, Schichtbildern und Videos illustriert sind.

Außer der Rotation um eine Achse in vordefinierten Schritten und der Selektion einer Struktur, zu der Informationen präsentiert werden, ist keine weitere Interaktion mit den Daten möglich.

Sourina u. Sourin [2000] haben ein System für das Training der Behandlung von Knochenbrüchen entwickelt. In diesem orthopädischen Chirurgietrainingssystem wird Wissen über Techniken, Werkzeuge sowie Implantate zur Fixierung von Frakturen vermittelt. Dabei wird die Therapieentscheidung und die interaktive Therapiedurchführung für die Platzierung von Implantaten trainiert. Für das Training erfolgt die 3D-Visualisierung der Knochen und Schrauben bzw. Implantate. Die umliegenden Strukturen werden nicht dargestellt. Das Training beschränkt sich auf die Befestigung der Implantate und schließt keine Zugangswegplanung ein. Es stehen verschiedene Arten an Knochenbrüchen und ihrer Versorgung für das Training zur Verfügung.

Die LEHR-OP von Teltra (www.teltra.org) bietet den Lernenden illustrierte Lehroperationen für die Traumatologie und Chirurgie (siehe Abbildung 7.2). Es werden detailgetreue Abläufe verschiedener Operationstechniken vermittelt. Das Lernprogramm beinhaltet die Schritte Klassifikation, Diagnostik, Indikation, Operation und Nachbehandlung. Zu jedem Schritt gibt es Videoaufnahmen und eine zugehörige textuelle Beschreibung. Weiterhin werden in den entsprechenden Schritten Fotos des Implantats und ein interaktiv explorierbares 3D-Modell der Anatomie sowie der Implantate einzeln und im Zusammenhang präsentiert. Die 3D-Modelle

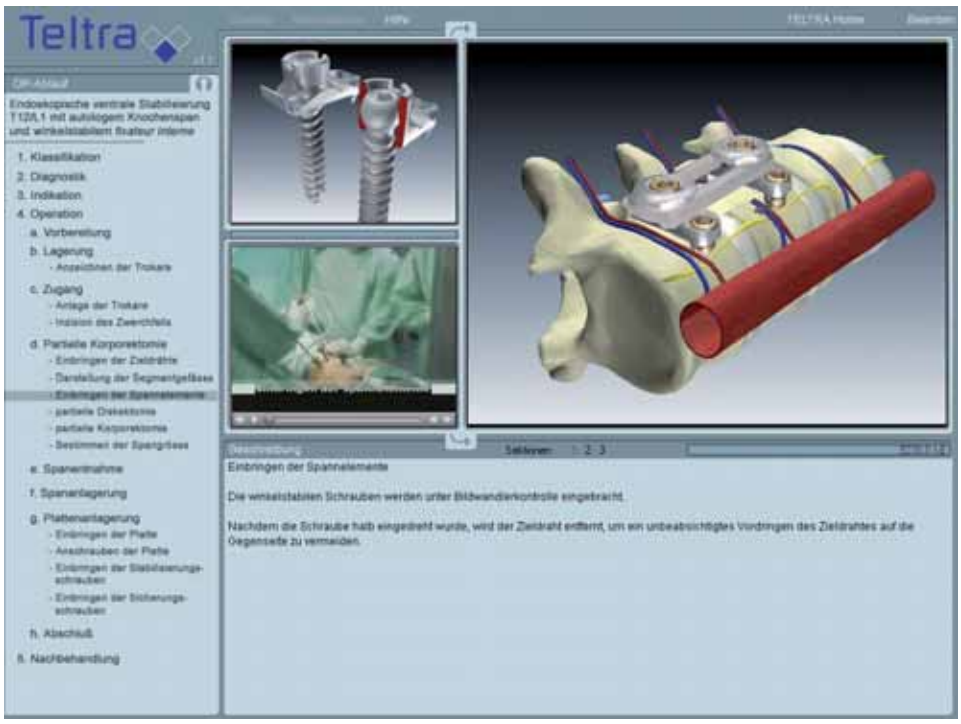


Abbildung 7.2: *Die* LEHR-OP *(Quelle: www.teltra.org) beinhaltet Beschreibungen des klinischen Workflows von Operationen der Traumatologie und Chirurgie, die durch Videos und teilweise interaktive 3D-Modelle illustriert werden.*

können frei exploriert werden. Dafür stehen die Aktionen Rotation, Translation und Zoomen zur Verfügung. Der Eingriff selber wird anhand der 3D-Modelle nicht simuliert, sondern ausschließlich in den Videos dargestellt.

Die Internetplattform ORTHOPEDICS HYPERGUIDE (www.ortho.hyperguides.com) bietet den Nutzern ein breites Spektrum an Materialien für die Fortbildung in der Orthopädie und Traumatologie. Die Inhalte werden durch erfahrende medizinische Experten validiert. Die Plattform ist von nationalen und internationalen Fachgesellschaften als Weiterbildungsmedium anerkannt. Sie ist durch die Ärztekammer zertifiziert und damit für den Erwerb von CME-Punkten zugelassen. Das Fachwissen ist in Teilgebiete gegliedert, für die jeweils eine Vielzahl unterschiedlicher Medien für die Wissensvermittlung zur Verfügung steht: Onlinelektionen, Multimediapräsentationen, Tutorials, Wissenstests, Videos, Falldemonstrationen und Podcasts [Schimanke u. Weber, 2008].

7.3 Konzeption des SPINESURGERYTRAINERS

Dieser Abschnitt widmet sich der Konzeption des SPINESURGERYTRAINERS. Es gibt einige Punkte, die sich in Bezug auf die Konzeption des LIVERSURGERYTRAINERS gleichen. Aus diesem Grund wird hier nur auf Besonderheiten eingegangen, die die Entwicklung des orthopädischen Trainingssystems charakterisieren.

Aufgrund der starken Eingebundenheit der Ärzte in den klinischen Alltag erfolgte die Entwicklung und Diskussion der Szenarien mit einem Facharzt der Orthopädie (als medizinischer Experte) und einem Arzt in der Ausbildung (Assistenzarzt) als Vertreter der zukünftigen Anwender. Die Ziele des Trainingssystems sowie die Eigenschaften und Wünsche der Anwender konnten so, wenn auch zunächst aus einem eingeschränkten Blickwinkel, in den Designprozess einfließen.

Die Therapiefindung in der Wirbelsäulenchirurgie stellt eine besondere Herausforderung dar. Dabei werden der radiologische Befund, die neurologischen Ausfallerscheinungen, die Beschwerden und das soziale Umfeld des Patienten herangezogen. Für die chirurgische Planung ist es wichtig, die räumlichen Beziehungen zwischen nervalen und spinalen Strukturen sowie die Lage der Wirbelsäule zu den umliegenden Muskeln, Gefäßen und Drüsen zu kennen. Um diese anatomischen Kenntnisse, Therapiemöglichkeiten und Entscheidungskriterien zu vermitteln und das Training der Therapiefindung zu ermöglichen, wird der SPINESURGERYTRAINER entwickelt [Cordes u. a., 2008; Kellermann u. a., 2010]. Die Lernenden können ihren Planungsweg mit dem eines Experten vergleichen. Optional bekommen sie die Möglichkeit, mehrere Varianten eines Falls zu planen. Auf diese Weise lässt sich verdeutlichen, dass geringfügige Veränderungen des Befundes Einfluss auf die Therapieentscheidung haben. Die Varianten können z.B. durch kleine Verschiebungen der Anatomie oder Abweichungen der symptomatischen Beschwerden des Patienten entstehen. Zusätzlich zu den praktischen Aspekten können theoretische Grundlagen anhand allgemeiner Beispiele interaktiv erlernt beziehungsweise vertieft werden.

7.3.1 Analyse der Ausgangsbedingungen

Die *Problem- und Bedarfsanalyse* erfolgte analog zu der des LIVERSURGERYTRAINERS. Es gibt eine Vielzahl an therapeutischen Möglichkeiten Erkrankungen der Wirbelsäule zu therapieren. Dabei müssen in jedem Fall individuelle Faktoren berücksichtigt werden, deren geringe Abweichungen zu einer ganz anderen Therapie oder einem abweichenden Vorgehen führen können. Für die Planung orthopädischer Eingriffe existieren viele Systeme. Es sind aber bisher keine Systeme bekannt, mit denen die Therapieentscheidung und deren Planung anhand patientenindividueller Daten und 3D-Modelle trainiert werden kann. Die existierenden Lernsysteme konzentrieren sich auf die lehrbuchähnliche Wissensvermittlung (teilweise unter Nutzung multimedialer Elemente) oder auf die Vermittlung allgemeiner Vorgehensweisen an standardisierten virtuellen Anatomien.

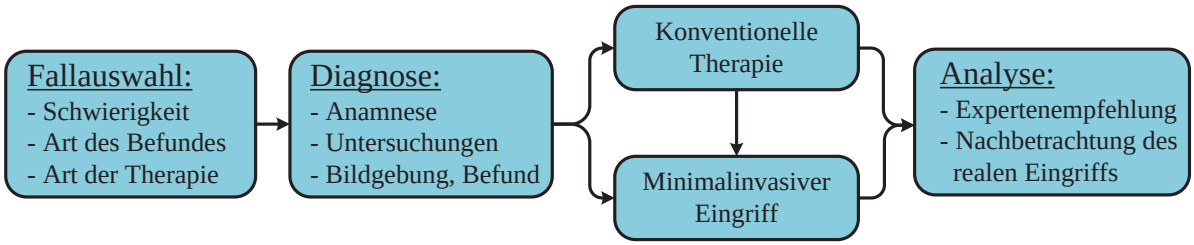


Abbildung 7.3: *Der Workflow des ersten Prototyps des* SPINESURGERYTRAINERS. *Er ermöglicht das Training des Einsatzes konventioneller Therapiemethoden und minimalinvasiver Eingriffe. Offene operative Eingriffe sind in der aktuellen Version nicht berücksichtigt.*

Ebenfalls vergleichbar ist die *Anwenderanalyse* der beiden im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Trainingssysteme. Es handelt sich bei der Nutzergruppe des SPINESURGERYTRAINERS ebenfalls um Ärzte in der Aus- und Weiterbildung, die durch ähnliche Eigenschaften charakterisiert werden können, wie die Nutzer des LIVERSURGERYTRAINERS (siehe Abschnitt 6.3.1). Die Zielgruppe umfasst bei diesem System eher die Ärzte in der Ausbildung. Sie unterscheiden sich in für das System relevanten Aspekten, bis auf ihr Grundlagenwissen, nicht deutlich von den Ärzten in der Weiterbildung.

Die Akzeptanz für den Einsatz computergestützter Planungssoftware und die Qualität der Planung soll durch das Trainingssystem erhöht werden. Die wichtigsten *Trainingsziele* fokussieren die Qualität der Planung und die Vermittlung neuer Therapiemethoden:

- Genaues Verständnis der Anatomie der Wirbelsäule und der Lagebeziehungen
- Treffen von Therapieentscheidungen auf Basis der radiologischen Daten und des radiologischen Befundes, der neurologischen Ausfallerscheinungen, der Beschwerden und des sozialen Umfeldes des Patienten
- Eigenständiges Durchführen einer computergestützten Planung von minimalinvasiven sowie offenen Eingriffen. Dazu ist die Beherrschung der relevanten medizinischen Grundlagen, der Planungsschritte und Interaktionstechniken notwendig.
- Wissen über den Einsatz und die Handhabung neuartiger Instrumente

Für das Training stehen Fälle zur Verfügung, die auf realen Patientendaten basieren und den kompletten klinischen Workflow wiederspiegeln (siehe Abbildung 7.3).

Der *Einsatzkontext* ist ebenfalls ähnlich zu dem des LIVERSURGERYTRAINERS. Es bietet neben der Möglichkeit des selbstgesteuerten Lernens auch die Möglichkeit des Einsatzes im Rahmen von Kursen zur Aus- und Weiterbildung. Für die Nutzung ist keine spezielle Hardware notwendig. Das System kann auf jedem aktuellen PC installiert werden.

7.3.2 Szenariobasierte Entwicklung

Basierend auf Vorgesprächen mit den klinischen Partnern wurden zunächst einige User Stories erstellt. Mit Hilfe dieser User Stories konnte der grundsätzliche Ablauf des Trainings diskutiert werden. Durch Abstraktion und Zusammenfassung der User Stories entstanden Conceptual Scenarios, die den Grundaufbau und das Design beschreiben und erste Möglichkeiten der Vorgehensweise eines Benutzers beinhalten. Mit ihrer Hilfe war eine effektive Kommunikation mit den Orthopäden über den Ablauf des Trainings möglich.

Detaillierte Beschreibungen der Trainingsschritte wurden in Concrete Scenarios festgehalten. Sie beschreiben in hohem Detailgrad jeweils einen speziellen Aspekt bzw. eine spezifische Funktionalität des SPINESURGERYTRAINERS. Wichtige Aspekte, die in dem beschriebenen Zusammenhang beachtet werden sollten, konnten so in Diskussionen identifiziert werden. Die Unterstützung der Lernenden durch Gefahrenhinweise bei der Planung, z.B. wenn wichtige Strukturen (z.B. Blutgefäße, Nerven) durchstochen werden, wurde im Rahmen dieser Diskussionen als hilfreiches Detail bewertet.

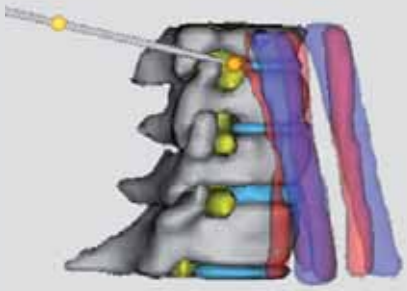
Die Diskussionen mit dem *chirurgischen Experten* bezogen sich vor allem auf die Inhalte des Trainingssystems. Gegenstand der Gespräche auf Basis der Szenarien waren hauptsächlich folgende Fragen:

- Wer sind die Nutzer des Systems? In welchem Kontext soll das Trainingssystem zum Einsatz kommen?
- Was soll mit dem System gelernt bzw. trainiert werden? Liegt der Fokus auf der Vermittlung von Grundlagenwissen oder der Planung von Eingriffen auf Basis von 3D-Modellen?
- Welche Fälle und Falldaten sind dafür notwendig?
- Welche Grundlagen sollen vermittelt werden? Welches Wissen wird vorausgesetzt?

Im Gegensatz dazu gaben die Diskussionen mit dem Repräsentant der Nutzergruppe Aufschluss darüber, wie aus Sicht eines Lernenden die Lerninhalte vermittelt werden sollten. Ihm ist eine Abgrenzung zu anderen Lehrmitteln (z.B. Fallsammlungen, multimediale Präsentationssysteme, Lehrbücher) wichtig. Der Schwerpunkt des Trainingssystems sollte seiner Meinung nach eher auf die interaktive 3D-Visualisierung liegen und das Training der Intervention sowie Vertiefung der anatomischen Kenntnisse auf Basis des 3D-Modells gerichtet sein. Als nebensächlich wurde die Patientenpräsentation und die Diagnosestellung bzw. das Vermitteln von Lehrbuchwissen angesehen.

Im Folgenden werden beispielhaft einige Soll-Szenarien präsentiert, die im Verlauf der Konzeption entstanden sind. Verknüpfungen zu anderen Szenarien oder Zusatzmaterial sind in eckigen Klammern angegeben. Common Components und Core Components (siehe Abschnitt 5.1) sind in der User Story 1 exemplarisch hervorgehoben.

Beispiel „Training eines Falls mit Injektionsplatzierung“ (Autor: Katrin Hintz)



User Story 1: `Common Component 3 – Trainingsabsicht`: *Der angehende Facharzt soll zum ersten Mal eine Injektion im Bereich der Halswirbelsäule setzen. Er möchte den Vorgang trainieren, um seine Fähigkeiten zu testen und mit mehr Selbstbewusstsein seine erste Injektion am Patienten durchzuführen. Da im Moment kein Experte einen Termin frei hat und auch kein Übungsobjekt verfügbar ist, entscheidet er sich, die Injektion mit dem* SPINESURGERYTRAINER *zu trainieren. Dazu setzt er sich zu Hause an seinen Computer und startet das Programm.* `Common Component 9 – Fallauswahl`: *Hier kann er ein Übungsobjekt (medizinischen Trainingsfall) nach seinen Vorstellungen aussuchen und bearbeiten.* `Core Component 1 – Injektion bei Bandscheibenvorfall`: *Er wählt einen Patienten mit einem Bandscheibenvorfall. Zu Beginn des Programms werden ihm die Patienten- und Anamnesedaten des Trainingsfalls aufgezeigt. Auch die Untersuchungsergebnisse sind protokolliert. Anhand dieser Informationen kann er die Entscheidung für eine Injektion als Therapie fällen. Mit Hilfe der vom Programm zur Verfügung gestellten 2D- und 3D-Darstellungen der relevanten Patientenanatomie kann er nun die Injektion virtuell durchführen und den Einstichwinkel sowie den Weg der Injektionsnadel durch das Gewebe nachvollziehen. Das trainiert sein dreidimensionales Vorstellungsvermögen und mentales Schema des Injektionsvorgangs.* `Common Component 15 – Expertenvergleich`: *Durch den darauf folgenden Vergleich mit dem Vorgehen eines Experten kann er Fehler in seiner Durchführung erkennen und beheben.* `Common Component 26 – Fallvarianten`: *Auch ähnliche medizinische Fälle kann er im Anschluss virtuell behandeln und so sein Behandlungsspektrum und das dazu nötige Wissen vertiefen.*

Conceptual Scenario 1: [Erstellt aus User Story 1] *Der angehende Facharzt soll zum ersten Mal eine Injektion im Bereich der Halswirbelsäule vornehmen. Er möchte den Vorgang zunächst trainieren. Er wählt den* SPINESURGERYTRAINER*, um den Prozess einer Injektion virtuell nachzuvollziehen. Er öffnet das Programm, wählt einen Übungsfall aus* `[Concrete Scenario 1]`*, bei dem ein Bandscheibenvorfall der Halswirbelsäule behandelt werden muss*

und beginnt zunächst mit der Begutachtung der Patienten- und Anamnesedaten [Concrete Scenario 2]. *Dann entscheidet er sich für eine Injektion als Therapie und trainiert virtuell anhand der MRT-Daten des Patienten und dem rekonstruierten 3D-Modell, wie die Injektion gesetzt wird* [Concrete Scenario 3]. *Als selbstständige Kontrolle kann er dann seine Injektion mit der eines Experten vergleichen* [Concrete Scenario 4]. *Dieses Training kann er beliebig oft wiederholen und auch an anderen Übungsfällen nachvollziehen.*

Concrete Scenario 3 (Detail Planung der Injektion): [Erstellt aus Conceptual Scenario 1] *Bei der Planung einer Injektion muss der behandelnde Arzt darauf achten, den richtigen Injektionsweg zu verfolgen, damit keine unnötigen Verletzungen auftreten und die Injektion ihr Zielgebiet erreicht . Um sich genauer erklären zu lassen, wie eine Injektion gesetzt werden kann, öffnet der Arzt über den Hilfe-Button im Menü einen Hilfetext und liest sich die Information zu diesem Schritt genau durch* [Concrete Scenario 8 – Nutzung des Hilfesystems] . *Dann wählt er die Therapie über den Button „Injection“ aus und beginnt mit der virtuellen Planung. Mit der Maus und einem Linksklick setzt er dazu in den 2D-Schichtbildaufnahmen des Patienten einen Marker für den Einstichpunkt und einen Marker für den Zielpunkt der Injektionsnadel.* [Alternativen zur Nadelplatzierung] *Dafür muss er durch die Schichten navigieren und benutzt den Schieberegler neben dem Datenfenster. Die Nadel nimmt sofort die entsprechende Position ein. In einer Animation, die nach der Nadelplatzierung über den Button „Show Animation“ aufgerufen werden kann, kann er sich den Vorgang des Injizierens im 3D-Modell anzeigen lassen. Er kann auch manuell, mit Hilfe eines Schiebereglers, die Nadel vor und zurück bewegen, um den genauen Weg der Injektionsnadel nachvollziehen können* [Abbildung 4].

7.3.3 Fälle und Daten

Der SPINESURGERYTRAINER enthält für das Training reale Falldaten. Für jeden der orthopädischen Trainingsfälle existieren folgende Daten und Informationen:

- *MRT-Daten:* Radiologische Beschreibung der Daten (z.B. Auflösung, Kontrastmittel, Beurteilung der Strukturen), Kennzeichnung von Besonderheiten und pathologischen Strukturen

- *Segmentierung der wichtigen Strukturen:*
  - Knöcherne Strukturen: Wirbelkörper, Wirbelbogen, Wirbelgelenke
  - Dura (harte Hirnhaut, einzelne Nervenfasern sind nicht notwendig, da sie bei orthopädischen Eingriffen keine Rolle spielen) mit umschließendem Durasack
  - Bandscheiben
  - Nervenwurzeln
  - Gefäße (A. carotis, A. vertebralis, V. jugularis)
  - Muskeln (gruppiert nach ventralen und dorsal gelegenen Muskeln, je nach Zugangsweg ist eine Gruppe relevant)
- *Beschreibung des Falls:* Wie anspruchsvoll ist eine Planung (leicht, mittel, schwer)?, Welche Besonderheiten weist der Fall auf?
- *Patientendaten:* (fiktiver) Name, Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht
- *Anamnese und Befund:* Beschwerden und Einschränkungen, relevante Vorerkrankungen, berufliche und psychische Situation, Diagnose, Ergebnisse vorangegangener Therapien
- *Ergänzende Untersuchungen* (z.B. Sonographie), Ergebnisse und Bilder, Laborwerte
- *Therapievorschlag des Experten* (z.B. Injektion und Begründung des Vorgehens)
- *Nachbericht:* OP-Bericht, Fotos der OP mit Beschreibungen, Videos der OP - interessante Stellen, Filmmaterial des Mikroskops

Die aktuelle Version des SPINESURGERYTRAINERS beinhaltet bisher vier Trainingsfälle. Es handelt sich dabei um jeweils zwei Patienten mit Bandscheibenvorfällen der Halswirbelsäule und der Lendenwirbelsäule. Der Schwerpunkt soll zunächst auf der Behandlung von Bandscheibenvorfällen der Lendenwirbelsäule liegen, da in diesen Fällen der Zugang zum Gebiet des Eingriffs von hinten erfolgt. Vom Schwierigkeitsgrad sind diese Fälle einfacher, da sich nur sehr wenige andere Strukturen im Bereich des Zugangs befinden, die verschoben oder durchdrungen werden müssen. Die bisher vorhandenen Fälle sind alle durch eine konventionelle Therapie oder durch eine Injektion behandelbar.

Die Fallbasis soll zukünftig durch Bandscheibenvorfälle in anderen Regionen der Wirbelsäule ergänzt werden, für die ein ventraler Zugang oder eine minimalinvasive Operation zur Entfernung des Prolaps notwendig ist. Außerdem sollen Fälle integriert werden, die das Training der Behandlung von Spinalkanalstenosen und Instabilitäten der Wirbelsäule ermöglichen.

7.3.4 Trainingsschritte

Der Ablauf des Trainings mit dem SPINESURGERYTRAINER orientiert sich am klinischen Workflow. Die einzelnen Module und Trainingsschritte werden im Folgenden kurz erläutert.

Theoriemodule

Im Rahmen der Theoriemodule sollen anatomische, diagnostische und therapeutische Grundlagen der Wirbelsäulenchirurgie in lehrbuchähnlicher Form vermittelt werden. Sie können zum Lernen neuen Wissens und zur Vertiefung vorhandenen Wissens genutzt werden. Diese konventionelle Art der Wissensvermittlung soll durch den Einsatz multimedialer Elemente, z.B. Videos diagnostischer Untersuchungen, Operationen und Physiotherapien, Animationen zur Verdeutlichung räumlicher Lagebeziehungen und virtueller Therapieplanungen sowie Lehrvorträge ergänzt werden. Es sind weiterhin interaktive Module vorgesehen, mit denen die Lernenden beispielsweise die Nerven und ihre Versorgungsgebiete sowie mögliche Symptome im Fall eines abgedrückten Nervs explorieren können. Das Modul vermittelt, welche Nervenwurzel ein bestimmtes Hautareal versorgt und welche Auswirkungen eine Quetschung dieser Nervenwurzel zum Beispiel durch einen Bandscheibenvorfall hat. Der Nutzer kann interaktiv entscheiden, welche Nervenwurzel nur noch bedingt oder gar keine Impulse mehr weiterleitet und bekommt vom System die Rückmeldung, welche Rezeptoren dadurch ausfallen und welche Symptome bei dem Patienten auftreten würden.

Fallauswahl

Aufgrund der bisher geringen Anzahl an Trainingsfällen wurde die Fallauswahl in Form einer Überblicksseite gestaltet. Dort werden zu jedem Fall neben einer visuellen Darstellung des Befundes relevante Daten präsentiert. Diese wesentlichen Charakteristika des Falls sollen den Lernenden bei seiner Fallauswahl unterstützen. Es werden der Name des Falls, der Befund sowie die genaue Lokalisation des Befundes in der Wirbelsäule aufgeführt.

Anamnese, Voruntersuchungen, Planungsdaten

Im ersten Schritt des Trainings werden die grundlegenden Daten und Informationen zum Patienten präsentiert (siehe Abbildung 7.4). Neben allgemeinen Angaben zum Alter, Geschlecht, Gewicht und Größe sind vor allem der Beruf und Angaben zur persönlichen Situation, z.B. sportliche Aktivitäten und familiäre Verhältnisse, interessant und für die Therapieentscheidung von Bedeutung. Einen zusätzlichen Einfluss auf die Wahl der geeigneten Therapie haben die Krankheitsgeschichte des Patienten sowie bereits durchgeführte Therapieversuche.

Die Diagnose wird auf Basis der Ergebnisse der körperlichen Untersuchungen und der medizinischen Bildgebung durchgeführt. Dabei spielen neben den MRT-Daten auch Röntgen-Funktionsaufnahmen in verschiedenen Positionen (normal stehend, nach vorn und nach hinten gebeugt) eine Rolle.

Die Präsentation der Planungsdaten dient der ersten Auseinandersetzung mit den Schichtbilddaten und mit der patientenindividuellen Anatomie und Pathologie. Die Daten können frei exploriert werden. Dafür stehen die Funktionen Blättern, Zoomen, Verschieben und Änderung

des Grauwertfensters zur Verfügung. Zur Unterstützung können die segmentierten Strukturen als farbige Überlagerungen in den Schichtbilddaten eingeblendet werden.

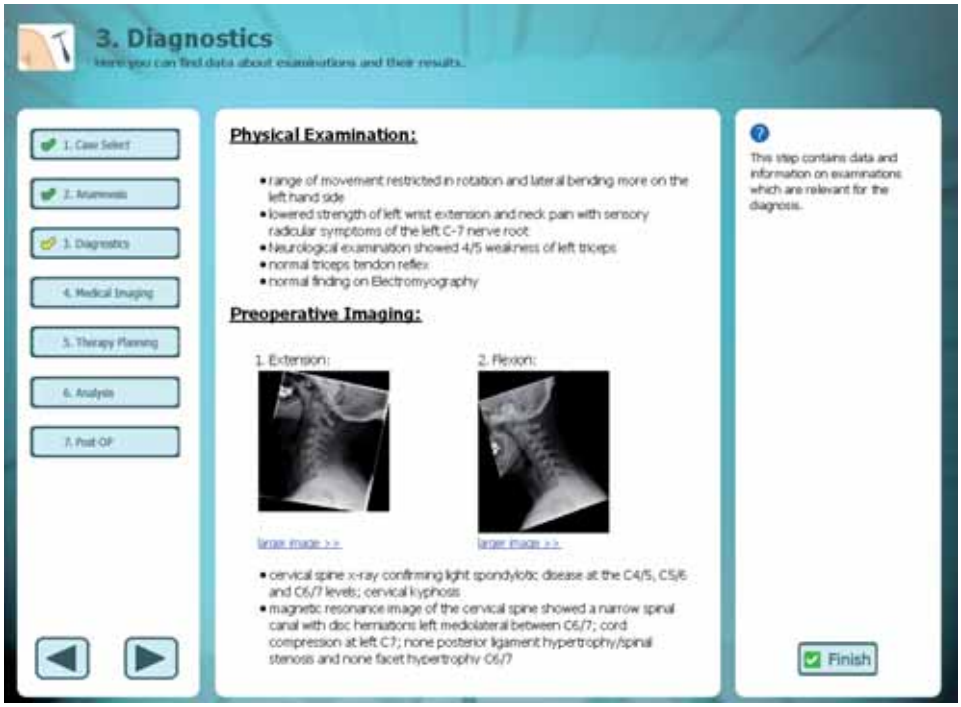


Abbildung 7.4: *Präsentation der bisher durchgeführten Untersuchungen des Patienten im Rahmen der Diagnosestellung. Neben textuellen Beschreibungen stehen zusätzlich Bilddaten, beispielsweise Röntgen-Funktionsaufnahmen, zur Verfügung.*

Therapieplanung

Konventionelle Therapie. Die Festlegung der Art und Dauer einer konventionellen Therapie erfolgt in Form einer virtuellen Rezeptausstellung. Dafür muss beispielsweise die Anzahl an Massagen, Fangopackungen, manuellen Therapien angegeben werden.

Planung der Platzierung einer Injektion. Für die Platzierung der Injektion werden der Einstichpunkt auf der Haut (siehe Abbildung 7.5) und der Zielpunkt der Nadelspitze durch den Lernenden in den Schichtbilddaten definiert. Alternativ kann die Definition der Punkte auch im 3D-Modell auf einer eingeblendeten, axial frei beweglichen MRT-Schicht erfolgen (siehe Abbildung 7.6). Die Korrektur der Nadelposition kann durch das Verschieben dieser Punkte oder der virtuellen Injektionsnadel vorgenommen werden. Der so festgelegte Pfad der Nadel wird dem Lernenden durch eine Animation verdeutlicht, die den Prozess des Einstechens am 3D-Modell zeigt (siehe Abbildung 7.7). Dabei kann das 3D-Modell durch den Nutzer in eine beliebige Position rotiert werden.

Abbildung 7.5: *Für die Definition des Einstichkanals der Injektion wird zunächst in den Schichtbilddaten der Einstichpunkt festgelegt. Zur besseren Orientierung werden die relevanten Strukturen als farbige Überlagerungen in den Schichtbildern eingeblendet. Oben links wird die aktuelle Nadelposition im 3D-Modell angezeigt.*

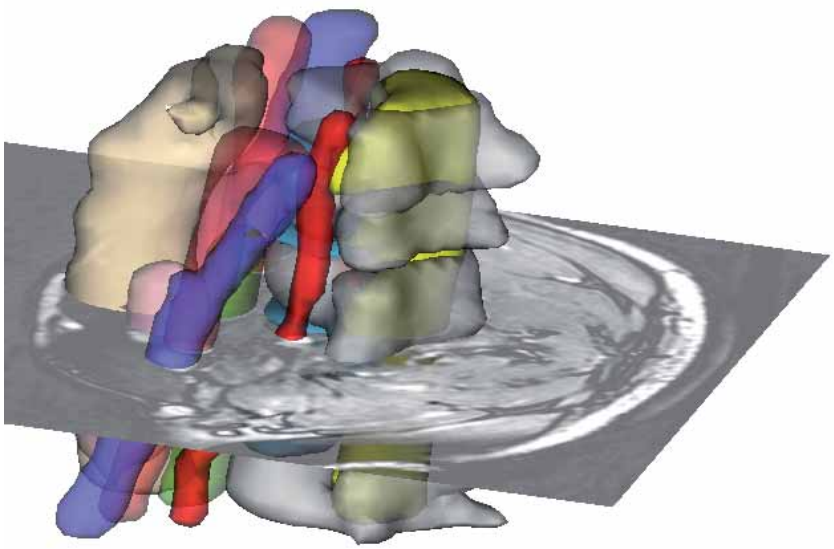


Abbildung 7.6: *Die im 3D-Modell eingeblendete MRT-Schicht kann in axialer Richtung durch das Modell geschoben werden. Sie zeigt die Anatomie in den Schichtbildern an der entsprechenden Stelle.*

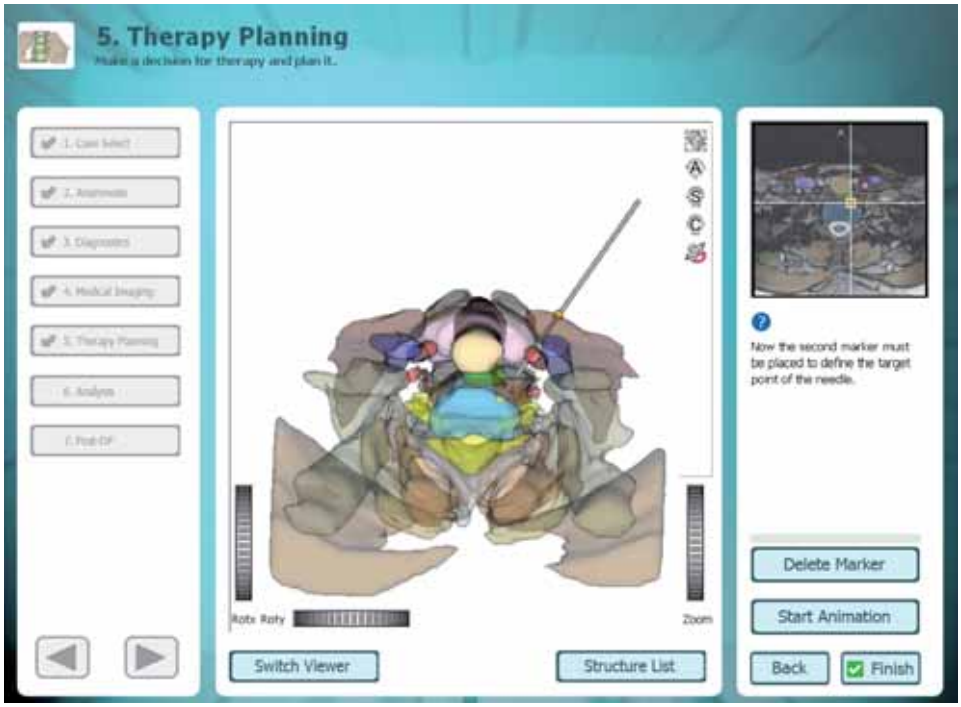


Abbildung 7.7: *Nach der Definition des Zielpunktes der Nadel kann deren Position im 3D-Modell kontrolliert werden. Eine Animation verdeutlicht den Vorgang der Platzierung.*

Eine bisher nicht umgesetzte dritte Möglichkeit der Platzierung der Injektion (und anderer Instrumente, z.B. die Dilatatoren bei einer MAPN) ist die kombinierte markerbasierte Definition des Einstichpunktes. Danach wird der Winkel der Nadel durch eine Rotation mit eingeschränkten Freiheitsgraden im 3D-Modell bestimmt. Das anschließende Voranschieben der Nadel zeigt dem Lernenden, ob er den Winkel richtig gewählt hat und die Nadel die anvisierte Stelle trifft. Dieses Vorgehen ist einer realen Nadelplatzierung sehr viel näher als die beschriebenen rein markerbasierten Methoden. Der Lernende benötigt allerdings Erfahrung bei der Interaktion im 3D-Raum. Durch eine Einschränkung der Freiheitsgrade wird das Risiko minimiert, die Nadel ungewollt in eine abwegige Lage zu bringen. Auf diese Weise wird der Lernaufwand minimiert.

Planung minimalinvasive MAPN. Die Positionierung des initialen Dilatators erfolgt analog zur Injektionsplatzierung. Im Anschluss wird durch eine Animation der Prozess des iterativen Aufweitens durch immer größere Dilatatoren und die finale Platzierung des Arbeitskanals präsentiert. Im Fall eines aufspreizbaren Arbeitskanals wird über eine Benutzereingabe die Spreizung festgelegt. Der Einblick auf das OP-Gebiet erfolgt anschließend durch den Arbeitskanal und ist wie in der Realität stark eingeschränkt. Für die Ausräumung einer Bandscheibe ist in einigen Fällen noch die Abtragung von Knochen notwendig. Das kann durch ein virtuelles Stanzwerkzeug realisiert werden, das der Lernende auf die zu entfernenden Knochenteile anwendet. Das Aufschneiden des gelben Bandes und das Verschieben des Durasacks erfolgt automatisch nach der Selektion der jeweiligen Struktur.

Insertionszonen. Als Unterstützung für unerfahrene Lernende sollen bei der Planung einer Injektion oder eines minimalinvasiven Zugangs optional Insertionszonen eingeblendet werden. Diese Zonen kennzeichnen Bereiche auf der Hautoberfläche, von denen aus ein Zugang zum Zielgebiet möglich bzw. nicht möglich ist. Rote Bereiche markieren dabei Gebiete, von denen ein Zugang unmöglich ist, z.B. weil Gefäße verletzt werden würden oder Knochen den Zugang behindert. Gelbe Bereiche repräsentieren die Gebiete, in denen ein Zugang durchgeführt werden kann, aber beispielsweise bei einer MAPN Knochen abgetragen werden muss. Innerhalb grün gekennzeichneter Bereiche sollte idealerweise der Zugang platziert werden. Hier werden bei der Zugangslegung zur pathologischen Struktur weder Gefäße verletzt, noch wird der freie Zugang durch Knochen behindert.

Planung der Implantation: Die richtige Position von Bandscheibenimplantaten sowie Schrauben und Platten zur Versteifung wird ebenfalls markerbasiert bestimmt. Von Bedeutung ist außerdem die Lagebeziehung zueinander. Teilweise ist eine Translation oder Deformation der Strukturen der Wirbelsäule notwendig. Bei einer Versteifung werden zunächst die Schrauben und die Verbindungsplatten platziert. Vor der Verfestigung müssen die Wirbel in die richtige Position gebracht werden. Die Umsetzung der korrekten Ausrichtung der Wirbelsäule bzw. Wirbelkörper ist Bestandteil zukünftiger Forschungsarbeiten.

Analyse der Planung und Präsentation des operativen und postoperativen Verlaufs

Die Analyse der Therapieplanung erfolgt analog zu der des LIVERSURGERYTRAINERS. Neben einer Gegenüberstellung der Ergebnisse des Lernenden und der von Experten kann die Analyse der Korrektheit der Planung auf Basis der Insertionszonen erfolgen. Es kann außerdem überprüft werden, ob beispielsweise die korrekten Strukturen entfernt oder Strukturen durch die Instrumente zur Knochenabtragung verletzt wurden.

Im abschließenden Schritt des SPINESURGERYTRAINERS werden Materialien (z.B. OP-Protokoll, Videos und Mikroskopaufnahmen des Eingriffs, Bericht über den postoperativen Verlauf) für die Nachbetrachtung des Falls angeboten (siehe Abschnitt 6.3.4 und 6.3.4).

7.3.5 4C/ID-Modell

Lernaufgaben. Die Trainingsfälle des SPINESURGERYTRAINERS sollten bei größerem Fallaufkommen entsprechend ihrer Komplexität in verschiedene Aufgabenklassen unterteilt werden. Nach einer detaillierten Analyse der Patientendaten, der Anamnese, der Beschwerden und klinischen Untersuchungen verlangen einfache Fälle häufig eine konventionelle Therapie, mit beispielsweise Physiotherapieeinheiten, oder eine einfach auszuführende Intervention, wie zum Beispiel eine Injektion an einer leicht zugänglichen Position. Die Teilaufgabenübung enthält ähnliche Elemente wie die des LIVERSURGERYTRAINERS (siehe Abschnitt 6.3.5). Es soll vorrangig die Interaktion mit den 3D-Daten trainiert werden.

Unterstützende Informationen. Die Lernenden bekommen unterstützende Informationen im Theorieteil des Trainingssystems angeboten. Dort werden Grundlagen zur Anatomie und den verschiedenen konventionellen, interventionellen und operativen Therapien vermittelt. Dafür stehen beispielsweise Auszüge aus Lehrbüchern, Expertenbeiträge sowie Videos und Fotos realer Eingriffe zur Verfügung. Weiterhin bekommen sie unterstützende Informationen im Verlauf der Bearbeitung eines Falls in Form von Expertenkommentaren und in der Analyse der Therapieplanung.

Einsatzsynchrone Informationen werden den Benutzern beispielsweise in Form von Hilfetexten und Expertenkommentaren geliefert, die sie bei der Ausführung einer bestimmten Aufgabe unterstützen. Dies kann die schrittweise Beschreibung zur Platzierung der Injektionsnadel in den Schichtbilddaten oder die Beschreibung eines Experten zum Vorgehen bei einer Diagnosestellung sein.

7.4 Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Kapitel wurde auf die Konzeption und Entwicklung des SPINESURGERYTRAINERS eingegangen. Mit Hilfe des SPINESURGERYTRAINERS sollen anatomische Kenntnisse, Therapiemöglichkeiten und Entscheidungskriterien für die Planung im Bereich der Wirbelsäulenchirurgie vermittelt werden. Analog zum LIVERSURGERYTRAINER stehen dafür Patientendaten, Anamnese- und Untersuchungsdaten sowie 3D-Modell der Patientenanatomie zur Verfügung. Bei der Beschreibung der Konzeption wurde hauptsächlich auf Unterschiede im Bezug auf den zuvor entwickelten LIVERSURGERYTRAINER eingegangen. Die szenariobasierte Vorgehensweise und die Umsetzung des 4C/ID-Modells wurden beschrieben.

Der SPINESURGERYTRAINER befindet sich noch in der Entwicklung. Die konzeptionell vorgestellten Möglichkeiten der Therapieplanung werden im Rahmen zukünftiger Arbeiten umgesetzt. Es ist die Durchführung einer Evaluierung notwendig, die die Benutzbarkeit, die Korrektheit der Inhalte und den mit dem Lernsystem erzielbaren Lernerfolg ermittelt. Für diese Tests kann auf das in Abschnitt 8.5 vorgestellte Evaluierungskonzept zurückgegriffen werden.

8 Empfehlungen für die Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme

In diesem Kapitel werden die Erfahrungen aus der Entwicklung der beiden vorgestellten Trainingssysteme genutzt, um Hinweise für die Konzeption und Entwicklung chirurgischer Ausbildungs- und Trainingssysteme abzuleiten. Es werden die für diese Art von Trainingssystemen spezifischen Aspekte der Konzeption und Entwicklung herausgestellt [Cordes u. Preim, 2009; Mönch u. a., 2011]. Abschließend wird die Generalisierbarkeit der Empfehlungen in Bezug auf e-Learning Systeme in der Medizin bewertet.

Einige Überlegungen zur Erstellung der Empfehlungen sind im Rahmen des SOMIT Querschnittsprojektes „Ausbildung und Training“ entstanden. Das Querschnittsprojekt beschäftigt sich mit der Konzeption, Erstellung und Evaluierung einer disziplinübergreifenden webbasierten Trainings- und Fallinformationsplattform für die ärztliche Aus- und Weiterbildung am Beispiel der SOMIT-Disziplinen Orthopädie, Augenchirurgie und Leberchirurgie. Für die Realisierung der SOMIT EDUCATION PLATTFORM wurde die Open-Source-Lernumgebung MOODLE (www.moodle.de) genutzt. MOODLE stellt Funktionalitäten zur Benutzer- und Rechteverwaltung, Schnittstellen zum Datenaustausch sowie Test- und Prüfungswerkzeuge zur Verfügung. Die Lerninhalte wurden in abgeschlossenen Kursmodulen strukturiert. Für die Nutzung der Plattform sind drei Szenarien vorgesehen:

1. *Disziplinspezifisches Curriculum* - die Lernenden werden durch die aufeinander aufbauenden Kursmodule einer Disziplin geleitet.

2. *Innovationsbezogene Informationen* - die im Rahmen von SOMIT entwickelten innovativen Techniken werden disziplinübergreifend vorgestellt.

3. *Gezielter Informationszugriff* - gezieltes Nachschlagen bestimmter Informationen durch die Lernenden.

Die Fortschritte der Lernenden werden dokumentiert. Durch Lernstandstests können sie ihr Wissen überprüfen. Die Ergebnisse der Tests werden, im Fall einer ins Curriculum integrierten Nutzung, an den Lehrenden übermittelt [Lauer u. a., 2010].

8.1 Elemente chirurgischer 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. Falldatenbanken in dieser Form werden vor allem von medizinischen Experten als Nachschlagewerk genutzt. *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 3D-Modellen). Sie basieren jedoch eher auf generalisiertem Wissen als auf individuellen realen Falldaten und unterstützen darum ebenfalls keine direkte Diagnose- und Therapieerstellung. *Interaktive Kurse* hingegen bieten anhand virtueller Patienten die Möglichkeiten zur Exploration der Daten und Informationen sowie Feedback (z.B. zur Lösung von Aufgaben, zum Lernerfolg). Teilweise ist auch eine virtuelle Durchführung des Eingriffes möglich (z.B. durch Kennzeichnung oder Auswahl zu behandelnder Strukturen bzw. Instrumente), allerdings im Allgemeinen ohne haptische Rückmeldung. Haptische Rückmeldung bieten Chirurgiesimulatoren (z.B. im Bereich der Laparoskopie oder katheterbasierte Interventionen). Sie erlauben ein realitätsnahes manuelles Training von Eingriffen. Allerdings enthalten sie in den meisten Fällen keine realen Falldaten, sondern konstruierte Modelle.

Chirurgische Ausbildungs- und Trainingssysteme besitzen zusammenfassend eine Auswahl folgender Elemente:

- *Theoretische Komponenten*, z.B. zur Vermittlung anatomischer Lagebeziehungen und Variationen, Krankheitsbilder, offizieller Behandlungsleitlinien: lehrbuchähnliche Präsentationen (Texte, Bilder), multimediale Elemente (Videos, Animationen, interaktive 3D-Modelle)

- *Falldatenbanken und fallbasierte Systeme:* Präsentation relevanter Falldaten (z.B. Anamnese, Laborbefunde, Untersuchungsberichte, OP-Berichte, kommentierte Fotos, Videos)

- *Lern- bzw. Trainingsschritte entsprechend des klinischen Workflows:* Fallauswahl (z.B. Wahl eines Falls, Zusammenstellung einer Liste, zufällige Auswahl, virtuelle oder reale Fälle), Falldaten (siehe oben Falldatenbanken und fallbasierte Systeme), mehrere Varianten eines Falls, Training von Diagnose- und Therapieentscheidungen, Auswertung der Ergebnisse, Hilfestellungen und Feedbacktexte zu Trainingsergebnissen, adaptive Unterstützungsintensität und -inhalte, Expertenmeinungen bzw. -kommentare als Beispiel und Leitlinien zur Entscheidungsfindung

- *Simulationen* speziell konstruierter virtuelle Modelle oder Modelle realer Patienten, Simulation der manuellen Interaktion mit dem 3D-Modell der anatomischen Strukturen (z.B. laparoskopische Eingriffe, kathetergestützte Eingriffe) inklusive haptischem Feedback

- *Lernerfolgsermittlung und -bewertung:* Ermittlung des Wissensstandes durch Tests (z.B. Multiple-Choice Fragen, Freitexte, Analyse der Instrumentenhandhabung bei Chirurgiesimulatoren), Adaption des Lernpfades und der Hilfen an den individuellen Lernfortschritt
- *Elemente des Lernmanagements und sozialer Interaktion:* Benutzerverwaltung mit Zugriffssteuerung und Lerncurriculumsmanagement, Protokolle der Nutzung und des Lernfortschritts, Interaktion zwischen Lernenden und Lehrenden sowie zwischen den Lernenden (z.B. Chat, Forum), Anbindung an weiterführende Wissens- bzw. Kommunikationsressourcen (z.B. Zeitschriften, Fachplattformen, Fach- und Standesverbände)

8.2 Erfolgsfaktoren chirurgischer Trainingssysteme

Medizinstudenten sind mit ihren Lehrveranstaltungen und dem Lernpensum stark ausgelastet. Sie müssen zahlreiche Vorlesungen und Seminare besuchen, die Famulatur und ein praktisches Jahr absolvieren, eine Fülle von Lernstoff bewältigen und an einer Vielzahl von Prüfungen teilnehmen. Auch die Ärzte sind neben ihrem klinischen Alltag verpflichtet, regelmäßig an Fortbildungsveranstaltungen oder -angeboten teilzunehmen, für die sie CME-Punkte erwerben können. Als Fortbildung können beispielsweise Teilnahmen an Kongressen, Seminaren, Weiterbildungskursen sowie das Eigenstudium mit Fachliteratur oder diversen Onlineangeboten angerechnet werden. Für die Studenten und die Ärzte ist es demnach besonders wichtig, in kurzer Zeit viel neues Wissen erwerben zu können.

Neben der effektiven Wissensvermittlung sollte ein Lern- bzw. Trainingssysteme die Benutzer *motivieren, ihr Interesse an den Inhalten zu wecken* bzw. aufrecht erhalten. Dabei spielt unter anderem die Verwendung neuartiger und attraktiver visueller Komponenten, interessanter Aufgaben bzw. Inhalte eine wichtige Rolle. Diese Art der Stimulation kann indirekt bei der Erledigung von Aufgaben helfen [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 Sprache des Benutzers) ansprechend und angemessen gestaltet werden. Weitere Mittel, um die Neugier der Benutzer zu wecken ist die Integration von 3D-Visualisierungen, die idealerweise vom Benutzer frei explorierbar sein sollten, bzw. die Verwendung von Animationen oder 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 trainieren.

Das System muss das *Vertrauen der Benutzer* in Bezug auf die Korrektheit und Relevanz der Inhalte gewinnen. Dafür sollte Expertenwissen integriert und erkennbar präsentiert werden. Es sollte erkennbar sein, von welchem Experten dieses Wissen stammt. Idealerweise sollten bei Diagnoseinformationen oder Therapieempfehlungen mehrere Experten einbezogen werden, die ihre Aussagen begründen und kommentieren. Um zu gewährleisten, dass das Gelernte und die trainierten Fertigkeiten auf reale klinische Situationen übertragbar sind, sollten alle

medizinischen Informationen im System und das Wissen der Experten im *klinischen Kontext* präsentiert werden. Für eine ganzheitliche Sicht auf den Patienten, seine Erkrankung und ggf. sein Umfeld sollte der gesamte klinische Workflow (Patienteninformationen - Anamnese - Untersuchungen - Diagnose - Therapieentscheidung - Therapieplanung - Therapiedurchführung - postoperativer Verlauf) nachgebildet werden.

Im Bereich interpersonaler Beziehungen im pädagogischen Feld belegen Studien beispielsweise, dass ein vertrauensvolles Verhältnis zwischen Lernendem und Dozenten einen positiven Einfluss auf die Lern- und Leistungsmotivation und auf die Ausbildungseffizienz besitzt [Schweer, 1996]. Es ist noch unklar, ob dies auf Trainingssysteme und die enthaltenen Expertenkommentare übertragbar ist. Gerade in der Medizin, bei der die Autorität von „Meinungsbildnern“ eine besonders große Rolle spielt, darf dieser Aspekt nicht vernachlässigt werden.

8.3 Didaktische Konzeption

Für eine effektive Wissensvermittlung sollten bei der Konzeption eines Trainingssystems didaktische Konzepte bzw. Modelle zugrunde gelegt werden. Die für chirurgische Trainingssysteme am geeignetsten erscheinenden Konzepte und Modelle werden im Folgenden genannt, ihre Eignung begründet sowie mögliche Einsatzszenarien beschrieben.

Idealerweise sollte ein Didaktikexperte, möglichst ein Medizinpädagoge, in die didaktische Entwicklung einbezogen werden. Er sollte die didaktische Aufbereitung und Präsentation der Lerninhalte leiten oder überwachen, um sicher zu stellen, dass der Stoff den Lernenden angemessen und effektiv vermittelt wird.

8.3.1 Didaktische Konzepte

Für chirurgische Trainingssysteme erscheint das *tutorielle Konzept* geeignet. Es kann zur Vermittlung von chirurgischem Grundlagenwissen und den notwendigen Fähigkeiten zur Planung und Durchführung eines chirurgischen Eingriffs genutzt werden.

Für das Training von Operations- und Interventionstechniken bietet sich das *explorative Konzept* an. Mit Hilfe von Chirurgiesimulatoren und ihrer realitätsnahen Darstellung von Geweben können so beispielsweise minimalinvasive Eingriffe mit haptischem Feedback trainiert werden. Bedingt durch die hohen Kosten werden sie hauptsächlich im Rahmen chirurgischer Kurse für das Training eingesetzt (z.B. im European Surgical Institute).

Der Einsatz von *Selbstlernkonzepten* ohne Rückmeldung zum Lernerfolg und -fortschritt ist für interaktive Kurse und Simulatoren nicht geeignet. Anwendern mit ausreichend Vorwissen und Lernkompetenz bietet dieses Konzept allerdings einen schnellen Zugriff auf Informationen. In multimedialen Handbüchern und Falldatenbanken werden daher in der Regel Selbstlernkonzepte realisiert. Die Kombination chirurgischer Trainingssysteme mit multimedialen Handbüchern oder Falldatenbanken erscheint sinnvoll.

8.3.2 Didaktische Modelle

Die Nutzung eines Instruktionsdesignmodells ist hilfreich, um ein Trainingssystem zu entwickeln, welches Wissen und Fertigkeiten auf effektive Weise vermittelt. Das Modell des *Cognitive Apprenticeship* (siehe Abschnitt 2.2.2) erscheint für chirurgische Trainingssysteme geeignet. Apprenticeship (Lehrverhältnis) entspricht dem traditionellen chirurgischen Lernen. Bei einer praktischen Ausbildung sind für den Lernenden die einzelnen Handlungsschritte und ihre Bedeutung ersichtlich. Sie können nachvollzogen werden. Cognitive Apprenticeship überträgt dieses Prinzip auf die normalerweise unsichtbaren Denkprozesse des Lehrers [Brown u. a., 1989].

Das *Vier-Komponenten-Instruktions-Design-Modell* (siehe Abschnitt 2.2.4) nach van Merriënboer u. a. [2002] unterstützt den Transfer von prozeduralem Wissen und ist damit für die Konzeption von chirurgischen Trainingssystemen gut geeignet. Das Modell sieht ein Training von Teilaufgaben vor, die im Rahmen einer Gesamtaufgabe sicherheitskritisch sein können. Es gliedert die Trainingsfälle in einfache bis komplexe Klassen. Weiterhin wird zwischen unterstützender und einsatzsynchroner Information unterschieden, die dem Lernenden an unterschiedlichen Stellen im Trainingsprozess angeboten werden. 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.

Für die Konzeption webbasierter Systeme scheint das *Webquest Modell* nach Dodge [1995] geeignet. Webquests sind entdeckungsorientierte Aktivitäten (eine Suche), bei der die Informationen aus Internetressourcen stammen. Im Rahmen von Webquests soll eine bestimmte Aufgabe mit Hilfe einer durch die Lehrenden erstellten Webseite, die Informationen zum Ablauf sowie Materialien zur Lösung der Aufgabe beinhaltet, gelöst werden. Webquests fördern problemorientiertes Lernen.

8.3.3 Fallbasiertes Lernen

In chirurgischen Trainingssystemen sollte der Fokus auf der fallbasierten (problemorientierten) Vorgehensweise [Gräsel, 1997; Clark u. Mayer, 2002] liegen, da anwendbares Wissen sowie flexible Strategien vermittelt werden sollen. Die Übertragung des Gelernten in den klinischen Alltag sollte einfach sein. Die Benutzer lernen anwendungsnah das Lösen von Aufgaben bzw. das selbstständige Erstellen von Diagnosen, Therapieplanungen sowie die Durchführung der Therapie. Dafür stehen aufbereitete reale Patientendaten zur Verfügung, die neben anonymisierten persönlichen Informationen zum Patienten, seiner Anamnese, den Beschwerden und Labordaten 3D-Modelle der Patientenanatomie beinhalten. Die Lernenden sollten Rückmeldung über das Ergebnis des Trainings in Form von Expertenkommentaren erhalten. Abschließend können nach der Bearbeitung des Falls Informationen zum Verlauf der realen Behandlung bzw. zum realen Eingriff angeboten werden. Sie runden den Fall ab, wodurch er glaubwürdiger und authentischer wirkt.

8.3.4 Multimediaelemente

In der Chirurgie ist die Vermittlung von praktischem Wissen besonders wichtig. Zusätzlich zur konventionellen praktischen Ausbildung, können OP-Techniken, Instrumentenhandhabung und das Vorgehen bei der Planung von Eingriffen auch computerbasiert vermittelt werden. Durch Animationen, Videos und interaktive 3D-Modelle werden die Abläufe anschaulicher als in Büchern dargestellt. Für die Integration multimedialer Elemente in chirurgische Ausbildungs- und Trainingssysteme gelten die allgemeinen Richtlinien für den Multimediaeinsatz in Lernangeboten [Clark u. Mayer, 2002; Niegemann u. a., 2004]. Besonderes Potential für die Vermittlung von chirurgischem Wissen besitzt der Einsatz (interaktiver) Animationen, medizinischer 3D-Modelle (z.B. VoxelMan Atlanten [Höhne u. a., 2003a]) und Chirurgiesimulatoren (z.B. LapMentor [Simbionix, 2009]). Animationen 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 Kamerapositionierung, um relevante Strukturen gut sichtbar zu präsentieren [Mühler u. a., 2006]. Interaktive Animationen bieten dem Nutzer die Möglichkeit, in eine Animation einzugreifen, beispielsweise das animierte 3D-Modell selbst zu explorieren oder Visualisierungsparameter zu ändern. 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. Die Interaktionsmöglichkeiten mit den Daten sollten gut beschrieben werden, da sie oft nicht offensichtlich sind. Interaktiv manipulierbare 3D-Modelle finden in Chirurgiesimulatoren Einsatz.

Schreibtext wird für die Beschreibung der Patientendaten und der Anamnese, für Expertenkommentare und -empfehlungen, Hilfetexte, Untersuchungsberichte und OP-Protokolle eingesetzt. Ebenso ist Schreibtext in Kombination mit anderen Medien für die Vermittlung von Grundlagenwissen oder zur Einführung eines Falls geeignet. Der Vorteil dieses Mediums ist seine Beständigkeit. Texte sollten in kurze Einheiten gegliedert sowie prägnant formuliert werden. Eine Ausnahme bilden dabei Protokolle und Berichte.

Sprechtext eignet sich zur Einführung in einen Trainingsfall bzw. in die Funktionalität des Programms. Sprechtext ist nicht geeignet für die Präsentation langer Texte. Es können Expertenkommentare und -empfehlungen in Form von kurzen Sprachsequenzen angeboten oder medizinische Grundlagen vermittelt werden. Die Vorteile von Sprechtext gegenüber geschriebenem Text sind das bessere Behalten der Inhalte und eine bessere Lenkung von Aufmerksamkeit. Er sollte allerdings immer in Kombination mit einem zusammenfassenden schriftlichen Text präsentiert werden und in kurze Abschnitte gegliedert sein. Außerdem müssen Steuerungsmöglichkeiten (Start, Stopp, Pause, Wiederholung, Lautstärke) angeboten werden.

Medizinische Klangdokumente, z.B. Auskultationen und Perkussionen, sollten in Kombination mit einer textuellen Beschreibung präsentiert werden. Durch sie lassen sich Beispiele besser vermitteln als durch bloße Beschreibungen.

Musik erscheint ungeeignet für den Einsatz in chirurgischen Trainingssystemen.

Signaltöne können den Lernenden auf kritische Situationen aufmerksam machen. Beispielsweise kann ein Warnsignal beim Unterschreiten des Sicherheitsrandes bei der Tumorresektion oder beim Durchtrennen großer Gefäße eingesetzt werden.

Fotos und Bilder eignen sich in Form von Patientenfotos, um den Wiedererkennungswert eines Falls zu steigern oder Untersuchungsberichte zu illustrieren. Weitere mögliche Einsatzgebiete sind Fotos einer realen Operation und Schemata zur Vermittlung der Anatomie oder des chirurgischen Vorgehens. Fotos und Bilder erhöhen die Anschaulichkeit einer Beschreibung und sollten immer im Zusammenhang mit einer textuellen Beschreibung präsentiert werden.

Videos können beispielsweise als Einführung in das System oder als Beispieltraining angeboten werden. Vorgänge können so anschaulicher erläutert werden und tragen durch die Ansprache von mehreren Sinneskanälen zu einem besseren Verständnis und Behalten bei. Der hohe Informationsgehalt birgt allerdings auch die Gefahr der Überlastung des Lernenden. Videos sollten deshalb inhaltlich gegliedert und in kurzen Sequenzen mit Steuerungsmöglichkeiten präsentiert werden. Auf wichtige Inhalte sollte besonders hingewiesen werden, z.B. in begleitendem Text oder durch Annotationen im Video.

Medizinische Bilddaten, z.B. in Form von CT- und MRT-Schichtbilddaten, dienen in vielen Systemen als Grundlage zur Beurteilung der Anatomie, zur Diagnosestellung oder zur Planung eines Eingriffs. Die Lernenden sollten direkt mit diesen Bilddaten interagieren können (Blättern, Zoomen, Einstellen der Fensterung). Monitore, die für die Befundung zugelassen sind, sind für die Betrachtung medizinischer Bilddaten in Lernsystemen nicht notwendig. Die relevanten Strukturen und Organe können auch auf einem herkömmlichen Monitor ausreichend gut erkannt werden. Noch mehr als bei anderen Multimediaelementen muss hier auf die technische Ausstattung der Zielgruppe geachtet werden, weil es sich in den meisten Fällen um große Datenmengen handelt, die geladen und verwaltet werden müssen. Farbige Hervorhebungen und Annotationen relevanter Strukturen in den Daten erleichtern den Anwendern den Lernprozess und das Auffinden bestimmter Strukturen.

Animationen eignen sich zur Heranführung an neue Trainingsfälle, als Hilfe bei der Exploration interaktiver Modelle (z.B. Translation von Clipebenen, Rotation, Zoomen an das OP-Gebiet, Ausblenden von Strukturen) oder zur automatischen Kamerapositionierung, um relevante Strukturen gut sichtbar zu präsentieren. Abstrakte und komplexe Sachverhalte oder theoretische Inhalte lassen sich so gut vermitteln (z.B. anhand stark vereinfachter Modelle) und die Aufmerksamkeit der Lernenden lenken. Eine Veranschaulichung von Verläufen wichtiger Strukturen, ihrer Ausdehnung und räumlichen Position ist besser möglich als mit statischen Bildern. Animationen können als Unterstützung bei Interaktionsaufgaben dienen, die einen sehr hohen Freiheitsgrad besitzen (z.B. bei der Navigation zu schwer erreichbaren Strukturen einer Visualisierung). Ohne Hilfen wären diese Aufgaben ermüdend und zeitraubend. Weiterhin können effiziente Strategien zur effektiven Exploration einer Szene vermittelt werden [Bade u. a., 2008]. Für die Erstellung von Animationen kann das Information Seeking Mantra von [Shneiderman, 1996] verwendet werden. Dabei wird dem Betrachter zuerst ein Überblick über die Szene gegeben (z.B. durch eine Rotation um die komplette Szene). Danach wird an die Szene herangefahren und die Daten werden gefiltert (z.B. Ausblenden oder transparent

machen von umliegenden Strukturen). Im letzten Schritt wird dem Nutzer die Möglichkeit zur selbstständigen Interaktion mit der Szene gegeben (interaktive Animationen).

Eine abstrakte adaptive Definition von Animationsskripten ermöglicht die Verwendung einmal definierter Abläufe einer Animation für verschiedene Datensätze. Die abstrakte Spezifikation ist unabhängig von der konkreten Geometrie und Topologie der Szene und kann so auf unterschiedliche Datensätze, z.B Daten mehrerer Patienten, die die gleiche Körperregion abbilden, angewandt werden [Mühler u. a., 2006]. Der Einsatz sollte mit Steuerungsmöglichkeiten erfolgen und für Inhalte eingesetzt werden, die nur schwer mit Text oder statischen Bildern vermittelt werden können. Damit sie die Aufmerksamkeit erhalten und den Lernenden nicht ermüden, sollten eher mehrere kurze statt wenige lange Animationen angeboten werden. Von einem Einsatz als reines Gestaltungselement wird abgeraten. Automatische Anpassungen in einer Animation sind möglicherweise für den Benutzer schwierig zu verfolgen und nachzuvollziehen. Er weiß in den meisten Fällen nicht, was ihn in der Animation erwartet. Um den Nutzer beim Betrachten einer Animation zu unterstützen, sind deshalb Beschriftungen sinnvoll, die beschreiben, welche Objekte in der Animation zu sehen sind und wie diese im Verlauf der Animation manipuliert werden können. Diese Beschriftungen können in Abhängigkeit vom Animationsskript automatisch erstellt werden [Preim, 1998].

Interaktive Animationen bieten dem Nutzer die Möglichkeit, in eine Animation einzugreifen, beispielsweise das animierte 3D-Modell selbst zu explorieren oder Visualisierungsparameter zu ändern. Nach abgeschlossener Nutzerinteraktion wird die Animation fortgeführt. Alle vom Benutzer gemachten Einstellungen (z.B. Ansicht, Farbe, Transparenz) bleiben so lange erhalten, bis das Animationsskript wieder neue Änderungen vorsieht.

Medizinische 3D-Modelle 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. Interaktiv manipulierbare 3D-Modelle finden in Chirurgiesimulatoren Einsatz. Sie ermöglichen das Training chirurgischer Fertigkeiten durch die Verwendung realer Instrumente, die dem Lernenden haptisches Feedback der Interaktion mit den Modellen liefern. Die direkte Interaktion mit 3D-Modellen erhöht stark die Anschaulichkeit und weckt Aufmerksamkeit bei den Lernenden. Die Interaktionsmöglichkeiten mit den Daten sollten gut beschrieben werden, da sie häufig nicht offensichtlich sind. Optionale Annotationen der Daten sind für Anfänger hilfreich. Diese Annotationen können beispielsweise den Namen der Struktur oder des Organs sowie Volumenangaben, Ausdehnungen oder mittlere Gefäßdurchmesser enthalten. Der Benutzer kann die 3D-Visualisierungen individuell anpassen (z.B. Sichtbarkeit/Transparenz und Farbe von Strukturen, Sichtrichtung, Zoomfaktor), statt mit einzelnen oft überladenen Darstellungen konfrontiert zu werden.

Virtuelle Realität spricht die menschlichen Sinne über eine möglichst realistische, computergenerierte, virtuelle Umgebung an und ermöglicht Interaktionen mit ihr. Das Training sollte idealerweise in Patientenfälle eingebettet werden und differentialdiagnostische Fragestellungen berücksichtigen. Die virtuelle Realität spielt in dieser Arbeit keine Rolle. Deshalb wird an dieser Stelle nicht näher auf ihren Einsatz, z.B. in Chirurgiesimulatoren, eingegangen.

8.3.5 Hilfefunktionen

Neben dem üblichen Handbuch zur Bedienung des Systems erscheint der Einsatz von kurzen Videosequenzen, die eine bestimmte Funktionalität des Systems zeigen, sinnvoll. Mit Hilfe kurzer Videos lässt sich die Bedienung des Systems effizienter und anschaulicher für den Benutzer erklären. Das Hilfesystem sollte mehrstufig aufgebaut sein, um Benutzern mit unterschiedlichem Erfahrungsgrad angemessen Unterstützung zu bieten. Anfänger sollten ausführlichere Informationen bei jeder Teilaufgabe bekommen. Erfahrene Benutzer bekommen Hilfe nur noch auf Anforderung. Ein komplett selbsterklärendes Lernsystem ist der Idealfall. Leider lässt sich das gerade bei sehr komplexen Systemen nicht immer realisieren. Es kann auf der inhaltlichen Ebene nicht von einem homogenem Wissensstand ausgegangen werden. Den Nutzern muss immer die Möglichkeit gegeben werden, hilfreiche Zusatzinformationen anzufordern.

8.4 Entwicklungsprozess

Die Verwendung des *ADDIE-Modells* (siehe Abschnitt 2.2) ist für eine systematische Koordination aller Phasen der Entwicklung [Niegemann u. a., 2004] empfehlenswert. Diese fünf Schritte sollten bei der Konzeption chirurgischer Trainingssysteme durchlaufen werden, um ein an die Benutzer und ihre Lernziele angepasstes und gut getestetes System zu entwickeln.

Für eine optimale Gestaltung des Entwicklungsprozesses sollten weitere Werkzeuge und Methoden angewandt werden, deren Einsatz in Bezug auf die Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme in diesem Abschnitt beschrieben wird.

8.4.1 Einsatz szenariobasierter Entwicklung

Das szenariobasierte Design chirurgischer Trainingssysteme wurde bereits in Kapitel 5 ausführlich erläutert. Szenarien sollten eingesetzt werden, weil sie die Kommunikation mit den Chirurgen erleichtern und so unter anderem die Auswahl und Beschreibungen der Trainingsfälle sowie das Design der Teilschritte unterstützen. Beim Einsatz der Szenarien ist es wichtig, Redundanzen zu reduzieren. Der Entwicklungsprozess der Szenarien sollte nachvollziehbar gestaltet werden. Dafür müssen auch Änderungen und Anmerkungen sowie Abhängigkeiten zwischen einzelnen Szenarien deutlich gemacht und verwaltet werden.

8.4.2 Zielgruppenanalyse

Die Zielgruppenanalyse für die Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme unterscheidet sich nicht von der für andere Lernsysteme. Es müssen Daten zu folgenden Aspekten erhoben und ausgewertet werden: demographische Daten, Angaben zur Lernsituation, Vorkenntnisse

und Erfahrungen, soziodemographische Merkmale, Vorwissen und Lernstufe, Lernmotivation und Lerngewohnheiten.

Die Nutzer chirurgischer Trainingssysteme zeichnen sich in den meisten Fällen durch folgende Eigenschaften aus:

- Der *Wissensstand* der Lernenden ist von ihrem Ausbildungsgrad abhängig. Bei der Entwicklung von Lernsystemen für Studierende muss die Vermittlung von medizinischem bzw. chirurgischem Grundlagenwissen stärker einbezogen werden, als bei Ärzten in der Weiterbildung. Die Integration theoretischer Komponenten und von Grundlagenwissen hängt allerdings auch vom Lernziel ab. Ein System, das die Ärzte an neue Techniken und Instrumente heranführen soll, benötigt ein Modul, in dem die Grundlagen zu deren Nutzung erläutert werden.

- Die *problemorientierte Vermittlung von Wissen* des Medizinstudiums und die problemorientierte Herangehensweise der Ärzte im klinischen Alltag sollte bei der Konzeption eines Trainingssystems aufgegriffen werden (siehe Abschnitt 4.2).

- Die *Nutzung der Trainingssysteme* erfolgt teilweise im Rahmen von Kursen in der Aus- und Weiterbildung. Es steht während dieser Zeit ein Tutor für Probleme und Fragen zur Verfügung. Die Systeme werden auch für das Selbststudium genutzt. Die unterschiedlichen Motivationen (extrinsisch, intrinsisch, siehe Abschnitt 2.1.2) für die Nutzung müssen berücksichtigt werden.

- Bedingt durch den *klinischen Alltag* steht nur wenig Zeit zur Verfügung. Der Trainingsprozess sollte deshalb jederzeit unterbrochen und wieder fortgesetzt werden können. Um den Lernprozess effektiv zu gestalten, sollten nur relevante Informationen kurz und knapp in der notwendigen Detailliertheit präsentiert werden. Schmückendes Beiwerk, überflüssige Animationen oder aufwendige Bildschirmüberblendungen sollten vermieden werden.

- Besonders operativ tätige Ärzte scheinen durch ihre Aufgabe direkt am Patienten vom *Wahrnehmungstyp* her häufig visuell zu sein. Bei der Konzeption und der Präsentation der Lerninhalte sollte das berücksichtigt werden. Es sollten beispielsweise, wann immer es sinnvoll und möglich ist, zur Veranschaulichung bestimmter relevanter Aspekte Bilder, Schemata, Videos und Animationen eingesetzt werden.

- Ärzte besitzen häufig eine geringe *Computervertrautheit* im Vergleich zu Arbeitnehmern an Bildschirmarbeitsplätzen. Sie haben aufgrund der Fülle ihrer klinischen Aufgaben oft wenig Zeit sich mit dem Computer auseinanderzusetzen. Eine Ausnahme bilden Radiologen, die täglich an radiologischen Workstations die Befundungen vornehmen. Radiologen haben deshalb andere Anforderungen an Computersysteme. Sie sind Experten im Umgang mit der Befundungssoftware und wollen sie möglichst effizient, effektiv und ohne Einschränkungen durch Nutzerführung bedienen. Trainingssysteme für Chirurgen hingegen sollten den Umstand der möglicherweise eher geringen Computervertrautheit berücksichtigen und auch für Computerlaien intuitiv und einfach zu bedienen sein. Die Bedienoberflächen sollten nur die notwendigen Funktionen beinhalten, nicht

überladen sein und übersichtlich gegliedert werden. Die Funktionalität und Flexibilität sollte reduziert und die Einfachheit der Bedienung bzw. Übersichtlichkeit der Benutzungsschnittstelle hoch priorisiert werden (siehe Abschnitt 8.4.5).

Desweiteren müssen die Form und der Ort der Nutzung definiert werden. Es muss ebenso festgelegt werden, ob die Integration in ein übergeordnetes Ausbildungskonzept erfolgen soll.

8.4.3 Lernziele, Lerninhalte und Expertenwissen

Mit Hilfe von Lern- und Trainingssystemen können vor allem kognitive Lernziele adressiert werden. Sensomotorische Fertigkeiten können mit Chirurgiesimulatoren trainiert werden. Die Verfolgung affektiver Lernziele steht nicht im Mittelpunkt chirurgischer Trainingssysteme und gestaltet sich schwierig. Dazu ist die Einbindung von Gruppenarbeit bzw. kooperativem Lernen und eine Lernbegleitung in Form eines Tutors notwendig. Neben den offensichtlichen Lernzielen, z.B. dem Erlernen anatomischer Grundlagen und Zusammenhänge, dem Training von Diagnosestellung, Therapieentscheidung, -planung und -durchführung kann die Aufgabe eines Trainingssystems auch darin bestehen, die Chirurgen an neue Operationstechniken und -instrumente heranzuführen. Lern- und Trainingssysteme sollten in ein übergeordnetes Bildungskonzept integriert oder in Kombination mit anderen Medien verwendet werden. Bei der Aufbereitung der Lerninhalte spielt die didaktische Reduktion eine wichtige Rolle. Komplexe Sachverhalte müssen auf wesentliche Aspekte reduziert werden, um die Verständlichkeit zu verbessern.

Bei einer Therapieentscheidung und -durchführung spielt das *implizite Wissen erfahrener Ärzte* eine große Rolle. Entscheidungen werden oft intuitiv getroffen, aus persönlichen Erfahrungen heraus und ohne bewusst darüber nachzudenken. Der Prozess ist vergleichbar mit den automatisierten Handlungen beim Autofahren. Beim impliziten Wissen handelt es sich um komplexes strategisches Wissen, Gedanken, Erfahrungen, Regeln und mentale Modelle des Experten. Für ein chirurgisches Trainingssystem ist es wichtig, dieses implizite Wissen der Ärzte explizit und damit für das Training nutzbar zu machen. Dieser Prozess kann durch die Erstellung von Szenarien während des Entwicklungsprozesses stark unterstützt werden.

Das in chirurgischen Trainingssystemen verfügbare Expertenwissen sollte zur Vermittlung von Grundlagenwissen dienen. Ein Vergleich des Planungs- bzw. Operationsergebnisses des Lernenden mit dem mehrerer Experten bietet sich ebenso an. Dabei sollten immer mehrere Expertenvorschläge und Meinungen präsentiert werden. Es sollte für jeden Fall ersichtlich sein, wer die Fallautoren sind bzw. von welchem Experten die Erläuterungen und Empfehlungen stammen.

Ein *Autorensystem* zur Integration der Falldaten und des Expertenwissens in das Trainingssystem sollte wie das Trainingssystem aufgebaut sein, um die Einarbeitungszeit für die Experten möglichst kurz zu halten und einen logischen Ablauf bei der Fallerstellung bieten. Idealerweise sollte die Fallerstellung in die Kliniksysteme integriert werden, um den administrativen und zeitlichen Aufwand für die Fallautoren gering zu halten und so die Akzeptanz zu steigern.

So wäre eine arbeitsplatzunabhängige Fallakquise möglich. Es sollten keine zusätzliche Hard- oder Softwareausstattung, z.B. für die Integration von Multimediaelementen, benötigt werden.

8.4.4 Integration theoretischer Komponenten und Fallvariationen

Neben dem fallbasierten Charakter chirurgischer Trainingssysteme erscheint es sinnvoll, theoretische Komponenten zu integrieren. Diese sollten den Lernenden multimedial, z.B. mit Hilfe interaktiver Modelle, aktiv theoretisches Wissen vermitteln.

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 deutlich, 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. Nach der Bearbeitung eines Trainingsfalls hat der Lernende die Möglichkeit, anhand der Varianten dieses Falls erneut seine Therapievorschläge zu erstellen, zu denen er Feedback der Experten bekommt. Auf diese Weise muss kein komplett neuer Fall geladen werden. Der Lernende muss sich nicht wieder bis zur Entscheidungssituation vorarbeiten und die Auswirkungen minimaler Variationen des Befundes werden deutlicher, als wenn sie in separaten Trainingsfällen präsentiert werden.

8.4.5 User Interface Design

Für die benutzungsfreundliche Gestaltung von Software existiert eine Reihe genereller Entwurfs- und Gestaltungsprinzipien [Shneiderman u. Plaisant, 2009]. Sie liefern Richtlinien u.a. für die Gestaltung von Benutzeroberflächen, Regeln für die Navigation, Gliederung des Bildschirms, Aufmerksamkeitssteuerung und Datenein- und -ausgabe. Zur Förderung der intuitiven Benutzbarkeit und der Akzeptanz sollte sich, je nach Gebiet und Nutzergruppe, das Design des Systems an Gestaltungs- und Interaktionskonventionen gewohnter Software orientieren. Damit ist z.B. die Verwendung spezieller Icons und Farben oder Menülogiken gemeint.

Auf Basis der Eigenschaften der Nutzergruppe und der wiederkehrenden Interaktionsaufgaben wurden aus den Ergebnissen der Evaluierung des LIVERSURGERYTRAINERS [Cordes u. a., 2007a], und zahlreichen Diskussionen mit chirurgischen Experten zwei Grundregeln für das Design der Benutzeroberfläche entsprechender chirurgischer Anwendungen in diesem Bereich aufgestellt [Mühler u. a., 2008]:

- Bedienpanels auf das unbedingt Notwendige reduzieren, vorrangig visuelle Elemente einsetzen sowie große Bedienelemente verwenden.
- Nutzungsfreiheitsgrade reduzieren und dafür mehr Führung bieten.

Unter Einbeziehung dieser Maßgaben aus dem (leber-)chirurgischen Bereich lassen sich für das User Interface übergreifender chirurgischer Trainingssysteme die folgenden 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 selbstgesteuerten Lernen haben. Ein gewisser Grad an Führung ist aber vor allem für Lernende ohne viel Erfahrung sinnvoll. Die Wahl des Falls für das Training sollte der Lernende selbst treffen können. Auch die Reihenfolge der Bearbeitungsschritte und die zur Durchführung der Therapie notwendigen Schritte sollten in sinnvollem Rahmen frei wählbar sein. Die Möglichkeit des Testens mehrerer Therapiestrategien erlaubt dem Lernenden ebenfalls, selbstständig Erfahrungen über die Auswirkungen verschiedener Vorgehensweisen zu sammeln.

Es sollten gut identifizier- und differenzierbare Steuerelemente verwendet werden, die neben dem Titel auch eine kurze Beschreibung der Funktion, die sie auslösen, idealerweise auch ein Icon beinhalten.

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. Weiterhin ist es sinnvoll, beispielsweise die Rotation auf festgelegte Achsen einzuschränken, die die üblichen Sichtrichtungen zulässt oder einen bestimmten Bereich für Zoom oder Verschiebung festzulegen. Animationen können ebenfalls unterstützend wirken. Eine UnDo-Funktion für die Interaktionen bei der 3D-Exploration erscheint außerdem sinnvoll.

8.4.6 Personalisierung

Die Personalisierung chirurgischer Trainingssysteme kann mit unterschiedlichem Aufwand realisiert werden. Agentenbasierte Lernsysteme (siehe Abschnitt 2.3.8) sind mit einem hohen finanziellen und entwicklungstechnischen Aufwand verbunden. Auf sie wird im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen. Für die Anpassung der Trainingsfälle und ihrer Präsentation an den einzelnen Lernenden sind folgende Methoden denkbar:

- Bei der ersten Nutzung des Systems muss der Lernende seine Qualifikation angeben. Auf dieser Basis werden ihm automatisch passende Fälle vorgeschlagen.
- Der Nutzer kann sich eine Liste mit Fällen für sein Training zusammenstellen, die automatisch abgearbeitet wird.
- Die Fallauswahl kann derart angepasst werden, dass automatisch ähnliche oder schwierigerere Fälle vorgeschlagen werden.
- Speicherung benutzerdefinierter Annotationen zu den Fällen.

- Der Bearbeitungsstatus eines Falls sollte gespeichert werden, damit der Lernende auch nach einer längeren Unterbrechung mit der Bearbeitung eines Falls nicht neu beginnen muss.
- Es wird in den Fallbeschreibungen auf bereits bearbeitete Trainingsfälle verwiesen: Es wird auf den „Fall von gestern oder vom letzten Training“ eingegangen. Oder es werden Unterschiede zwischen zwei Fällen herausgestellt: „Im Gegensatz zum Fall XY, ist hier Folgendes zu beachten ...“.
- Einsatz automatischer Bildunterschriften zu den 3D-Modellen, die sich beispielsweise den sichtbaren Strukturen anpassen.

Um den Nutzern ein angenehmes Lernen zu ermöglichen, sollten einmal von ihm vorgenommene globale Einstellungen im Nutzerprofil gespeichert werden, z.B.:

- Speicherung der Einstellungen für den gewünschten Hilfemodus
- Anpassung des Detailgrades der Expertenempfehlung je nach Vorwissen des Nutzers
- Festlegung eines Standardexperten für Expertenmeinungen
- Speicherung der bevorzugten Standardansicht und Visualisierungsparameter des 3D-Modells sowie der Schichtbilddaten

Die Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie soll nur einen Einblick in die vielfältigen Möglichkeiten bei der Gestaltung adaptiver Trainingssysteme geben.

8.4.7 Bewertung des Lernerfolgs

Die Bewertung des Lernerfolges sollte idealerweise durch Messungen der Veränderung des Wissensstandes der Lernenden vor und nach dem Training erfolgen. Dabei ist die Berücksichtigung möglichst objektiver Daten, z.B. Zeiten für die Bearbeitung, Anzahl kritischer Aktionen bzw. Fehler besonders wichtig.

Aufgrund der vielfältigen chirurgischen Vorgehensweise ist eine absolute qualitative Bewertung der Leistung eines Lernenden bei der Durchführung eines virtuellen Eingriffs oft schwierig. Bewertbare Aspekte sind folgende: ob der Lernende bei einer virtuellen Resektion einen Tumor mit ausreichendem Sicherheitsrand entfernt hat, ob große Gefäße oder wichtige Strukturen verletzt wurden bzw. ob das im Patienten verbleibende Volumen eines Organs ausreichend ist oder ob Implantate im korrekten Winkel platziert wurden. Zusätzlich zu einer qualitativen Bewertung kann das Ergebnis des Lernenden in Form eines deskriptiven selbstregulierenden Feedbacks (siehe Abschnitt 2.3.6) den Empfehlungen von Experten gegenübergestellt werden. Die Lernenden bekommen so die Möglichkeit, ihr Ergebnis mit denen der Experten zu vergleichen, zu bewerten und mögliche Verbesserungen einzuarbeiten.

8.5 Evaluierung

Im Rahmen des SOMIT Querschnittsprojektes wurde ein allgemeines Konzept für die Evaluierung chirurgischer Trainingssysteme entworfen.

Es ist die Überprüfung und Sicherstellung der technischen Leistungsfähigkeit notwendig. Darüber hinaus muss untersucht werden, inwieweit das entwickelte System dazu geeignet ist, den Lernenden die Inhalte zu vermitteln. In diesem Zusammenhang sind neben den Inhalten und ihrer plattformbezogenen Aufbereitung insbesondere die Gebrauchstauglichkeit der Plattform sowie ihre Akzeptanz durch die späteren Anwender von großer Bedeutung. Die in diesem Zusammenhang zu evaluierenden Aspekte lassen sich in drei Ebenen untergliedern:

1. Evaluierung des Gesamtkonzeptes bzw. der Realisierung
2. Evaluierung der fachlichen Inhalte
3. Evaluierung des Benutzungsbenefits

8.5.1 Evaluierung des Gesamtkonzepts bzw. der Realisierung

Im Rahmen der ersten Ebene wird die Gebrauchstauglichkeit und Benutzerfreundlichkeit des Systems evaluiert. Dafür bietet sich die Nutzung vorhandener Kriterienkataloge bzw. Fragebögen an. Die Evaluierung der Ergonomie der Mensch-System-Interaktion erfolgt auf Basis der ISONorm 9241/110. Die Norm enthält sieben Dialoggrundsätze für die Gestaltung interaktiver Systeme: Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit, Lernförderlichkeit.

Es existieren verschiedene Fragebogenalternativen, die eine Systemevaluierung auf Basis der ISO Normen 9241/10 bzw. 9241/110 ermöglichen. Diese unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der Anzahl der Fragen sowie der daraus resultierenden Bearbeitungszeit (siehe Abschnitt 3.5.5). Die für den Nutzer zeitsparendste Variante der Fragebögen ist der ISONorm 9241/110-S Fragebogen.

Ist eine detaillierte Erfassung des Lernerfolgs durch Vorher-Nachher-Tests aus Zeit- oder Kostengründen nicht möglich, kann darüber hinaus eine subjektive Bewertung des Systems vorgenommen werden. Hierzu werden nach Abschluss jedes Kurses oder einer Gruppe von Kursen bzw. Fällen Fragen zur subjektiven Bewertung des Systems in Kombination mit einer subjektiven Bewertung des Lernerfolges bzw. Lernfortschritts gestellt.

Zusätzlich kann die Systembenutzung durch Usability-Tests evaluiert werden. Die Bearbeitung vorgegebener Aufgaben durch Probanden wird mit Hilfe von Videoaufzeichnungen und Eyetracking dokumentiert und anschließend analysiert bzw. zusammen mit den Probanden retrospektiv besprochen. Alternativ kann auch die Methode des *Lauten Denkens* angewandt werden, bei der der Proband während der Bearbeitung versucht, seine Gedanken und Handlungsentscheidungen zu verbalisieren.

Neben der Betrachtung der Gebrauchstauglichkeit können zusätzliche Aspekte, wie die Stimulation und Identität (hedonische Qualität), eines Systems berücksichtigt werden (AttrakDiff-Fragebogen, siehe Abschnitt 3.5.5).

8.5.2 Evaluierung der Inhalte

Die zweite Ebene umfasst die Bewertung der Lernziele, der Inhalte und der lernzielbezogenen Inhaltsrepräsentation innerhalb des Systems durch medizinische Experten. Zunächst ist es wichtig zu beurteilen, ob die einzelnen Lernziele vor dem jeweiligen Ausbildungs- und Trainingskontext sinnvoll sind und ob sie mit Hilfe der vorliegenden Kurs- und Fallinhalte erreicht werden können. Die Inhalte des Systems müssen qualitätsgesichert werden. Alle Informationen, (Fall-) Daten und Expertenkommentare müssen auf Plausibilität, Zielorientiertheit, Klarheit und Vollständigkeit geprüft werden. Dabei sollten u.a. folgende Fragen bzgl. der allgemeinen Inhalte, Falldaten und ggfs. Expertenkommentare beantwortet werden.

Allgemeine Inhalte:

- Sind die Inhalte relevant für die Erreichung des jeweiligen Lernziels?
- Sind die einzelnen Lernschritte in einer sinnvollen Reihenfolge präsentiert?
- Können die Lernaufgaben von den zukünftigen Lernenden mit den zur Verfügung stehenden Informationen gelöst werden?
- Wird die Auswertung der Ergebnisse des Lernenden korrekt durchgeführt?
- Werden weiterführende Links bzw. Literatur angegeben?

Trainingsfälle:

- Ist die Fallbasis repräsentativ hinsichtlich anatomischer Varianten, pathologischer Befunde (z.B. Tumorart, -größe, -lage), Schwierigkeitsgrade des Eingriffs, OP-Strategien und -verfahren?
- Sind alle Informationen der Trainingsfälle anonymisiert?
- Beinhalten die Trainingsfälle alle relevanten Informationen?
- Sind die medizinischen Inhalte plausibel bzw. korrekt?

Expertenkommentare:

- Sind die Expertenkommentare inhaltlich korrekt und verständlich?
- Sind die Expertenkommentare notwendig und hilfreich?
- Werden die Expertenkommentare an den richtigen Stellen präsentiert?
- Wird das Vorgehen des Experten angemessen begründet? Ist es nachvollziehbar?
- Ist ersichtlich, von welchen Experten die Kommentare stammen?

Für qualitätsgesicherte Falldaten sollten mindestens zwei chirurgische Experten am Reviewprozess beteiligt sein. Die Module zum Grundlagenwissen sowie die Daten zur Bildgebung, die Segmentierungsergebnisse und die daraus erstellten 3D-Modelle sollten einer Prüfung unterzogen werden.

8.5.3 Evaluierung der Benutzung

Die Bestimmung des Lernerfolgs kann im Rahmen einer empirischen Evaluierung erfolgen. Dabei sollte getestet werden, wieviel die Benutzer während des Trainings mit dem System in einer bestimmten Zeit lernen. Dafür kann eine Beurteilung in Form eines Vorher-Nachher-Tests vorgenommen werden. Die Benutzer beantworten vor und nach der Bearbeitung einer bestimmten Lernaufgabe einige Fragen zum Themengebiet, die Aufschluss über ihren aktuellen Wissenstand geben. Speziell für interaktive Trainingsmodule bieten sich zusätzlich die Betrachtung der Bearbeitungsdauer eines Falls und die Bewertung der Effektivität und Effizienz, z.B. bezogen auf die Anzahl der Fehlversuche und Wiederholung bestimmter Fehler, an.

Eine weitere Bewertungsmöglichkeit ist die Befragung der Lernenden nach dem Abschluss eines Kurses oder eines Falls. Dafür werden subjektiv zu beantwortende Fragen bzgl. der Unterstützung und des Lernerfolgs durch das System gestellt. Eine zusätzliche offene Kategorie bietet die Möglichkeit zur freien Kommentierung und Bewertung.

Es bietet sich an, eine Befragung, die Ergebnisse im großen Rahmen liefern soll, parallel zum Training durchzuführen. Damit den Lernenden kein großer zusätzlicher Aufwand entsteht und die Bereitschaft zur Beantwortung der Fragen nicht sinkt, werden nur wenige gezielte Fragen gestellt. Die didaktischen Aspekte des Trainingssystems sollten durch einen Didaktikexperten bewertet werden.

8.6 Generalisierbarkeit der Empfehlungen

Die Empfehlungen wurden für chirurgische Trainingssysteme erstellt. Eine interessante Frage ist, ob sich diese Empfehlungen auch auf andere Trainingssysteme in der Medizin anwenden lassen.

Eine Anwendung der Empfehlungen für Trainingssysteme anderer medizinischer Bereiche, die operativ tätig sind und sich mit der Behandlung von Patienten beschäftigen, erscheint möglich. Operative medizinische Disziplinen sind beispielsweise die Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, die Orthopädie oder die Gynäkologie. Die Elemente dieser Systeme können die gleichen sein wie für chirurgische Systeme.

Die vorgeschlagenen didaktischen Modelle sind hauptsächlich für die Vermittlung von prozeduralem Wissen konzipiert. Für die Vermittlung komplexer praktischer Fähigkeiten anderer medizinischer Bereiche sind sie ebenfalls geeignet. Handelt es sich aber um einen Bereich mit

vorrangig kognitiven oder affektiven Lernzielen, muss auf didaktische Modelle zurückgegriffen werden, die auf die Vermittlung dieser Lernziele spezialisiert sind.

Die fallbasierte Vorgehensweise bietet sich hingegen für Trainingssysteme aller medizinischen Bereiche an, die direkten oder indirekten Patientenkontakt beinhalten. Die ganzheitliche Präsentation eines Problems fördert die Motivation und das Lernen.

Die Empfehlungen für den Multimediaeinsatz können ebenfalls übernommen werden. Die Modalität der medizinischen Bilddaten unterscheidet sich von Gebiet zu Gebiet. Daher muss deren Darstellung angepasst werden. Handelt es sich beispielsweise um zeitveränderliche Daten, muss die Präsentation der zeitlichen Abfolge einbezogen und es müssen entsprechende Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt werden.

Die szenariobasierte Vorgehensweise bietet sich in jedem Fall an, um die Ärzte eng in die Entwicklung einzubinden. In allen medizinischen Bereichen spielt das implizite Wissen erfahrener Ärzte eine zentrale Rolle. Es ist selbstverständlich, dass sich das Design der Benutzeroberfläche an vertrauter Software orientieren bzw. so einfach wie möglich gestaltet sein sollte, um den Lernaufwand für die Bedienung zu minimieren. Das entwickelte Evaluierungskonzept ist ebenfalls problemlos auf andere Trainingssysteme übertragbar.

8.7 Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Kapitel wurde der Entwurf von Empfehlungen für die Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme beschrieben. Die Empfehlungen geben Entwicklern Unterstützung bei der Konzeption, Umsetzung und Evaluierung dieser Systeme. In den Empfehlungen werden didaktische Konzepte und Modelle vorgestellt, die für chirurgische Trainingssysteme geeignet erscheinen. Gerade im medizinischen Bereich sollte auf eine fallbasierte Vorgehensweise der Wissensvermittlung zurückgegriffen werden. Der Einsatz von Multimediaelementen in chirurgischen Trainingssystemen wurde betrachtet und es wurden Vorschläge für die Verwendung gemacht. Neben den Aspekten der Konzeption spielt der Entwicklungsprozess eine wichtige Rolle. Die szenariobasierte Vorgehensweise eignet sich, besonders in Kombination mit visuellen Prototypen, für die Kommunikation mit den Ärzten, die an der Entwicklung beteiligt sind. Im Rahmen der Zielgruppenanalyse wurden die (angehenden) Chirurgen charakterisiert und ihre Eigenschaften herausgestellt. Ein weiterer entscheidender Faktor bei der Erstellung der Trainingssysteme ist das User Interface Design. Basierend auf Erfahrungen mit dem LIVERSURGERYTRAINER und dessen Evaluierung wurden Grundregeln für das Design der Benutzeroberfläche erstellt. Abschließend wurde in diesem Kapitel ein Evaluierungskonzept präsentiert, das in drei Ebenen das Gesamtkonzept, die Inhalte und die Benutzung bzw. den Lernerfolg eines Trainingssystems untersucht.

Die Empfehlungen für die Entwicklung chirurgischer Trainingssysteme wurden im Rahmen der Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINERS, des SPINESURGERYTRAINERS sowie der

SOMIT EDUCATION PLATTFORM entworfen und spiegeln überwiegend die gesammelten Erfahrungen wieder. Sie erheben daher keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit oder Ausschließlichkeit. Sie wurden bisher noch nicht für die Entwicklung eines völlig neuen Systems eingesetzt. Der Test der praktischen Umsetzbarkeit aller Hinweise im Zusammenhang wurde demnach noch nicht durchgeführt und sollte der nächste Schritt zukünftiger Arbeiten sein. Zur Vervollständigung der Empfehlungen müssen außerdem noch einige weitere Aspekte betrachtet werden. Dazu gehören zum Beispiel webbasierte Trainingssysteme. Für diese Systeme sind spezielle Autorenwerkzeuge notwendig. Eine besondere Schwierigkeit liegt in der Bereitstellung geeigneter Funktionalitäten für die nutzerseitige Integration von Videomaterial.

Die Empfehlungen sind mit kleinen Änderungen auf die Konzeption und Entwicklung von Trainingssystemen anderer medizinischer Bereiche übertragbar, die zur Vermittlung sensomotorischer Fertigkeiten eingesetzt werden sollen.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Computergestützte chirurgische Ausbildungs- und Trainingssysteme kommen im Rahmen der klassischen Aus- und Weiterbildung zunehmend unterstützend zum Einsatz. Das Spektrum der Systeme erstreckt sich von multimedialen Handbüchern über elektronische Atlanten, Falldatenbanken, interaktive Kurse, chirurgische Trainingssysteme und Chirurgiesimulatoren. Durch sie wird die medizinische Aus- und Weiterbildung unabhängiger von den zur Verfügung stehenden Experten und dem klinischen Fallspektrum. Sie ermöglichen ein räumlich und zeitlich flexibles Lernen, was bei Ärzten eine noch wichtigere Rolle spielt als in vielen anderen Berufsgruppen.

In dieser Arbeit wurde die Konzeption und Entwicklung zweier chirurgischer Trainingssysteme beschrieben. Der LIVERSURGERYTRAINER ist ein Trainingssystem für das Training der präoperativen Planung chirurgischer Eingriffe an der Leber. Zur Vermittlung anatomischer Kenntnisse, Therapiemöglichkeiten und Entscheidungskriterien für die Planung im Bereich der Wirbelsäulenchirurgie wurde der SPINESURGERYTRAINER konzipiert. Bei der Beschreibung beider Trainingssysteme lag der Schwerpunkt auf didaktischen Aspekten der Konzeption und auf dem Einsatz der szenariobasierten Vorgehensweise bei der Entwicklung.

Basierend auf den Erfahrungen mit den oben genannten Trainingssystemen wurden in dieser Arbeit Empfehlungen abgeleitet, die die Auswahl geeigneter Methoden zur Konzeption und Entwicklung chirurgischer Ausbildungs- und Trainingssysteme und deren Einsatz unterstützen.

Die szenariobasierte Vorgehensweise bei der Entwicklung wurde ausführlich betrachtet. Eine Auflistung von Aspekten, die in den Szenarien typischerweise beschrieben werden sollten, erleichtert Entwicklern zukünftiger Systeme die Definition der Menge notwendiger Szenarien. Es wurde ausführlich auf den Einsatz dieser Methode bei der Erstellung chirurgischer Trainingssysteme eingegangen. Für die Mitarbeit der Ärzte am Szenarienentwurf erscheinen die spezialisierten Werkzeuge des Requirements Engineering nicht geeignet. Aus diesem Grund wurde ein Workflow entworfen, der die Rahmenbedingungen im klinischen Alltag und die Fähigkeiten der Mediziner berücksichtigt. Die verwendete Software sollte möglichst weit verbreitet und bekannt sein, um einen schnellen Einsatz sicherzustellen und Einarbeitungszeiten zu vermeiden.

Die Empfehlungen beinhalten weiterhin Vorschläge für geeignete didaktische Konzepte. Das Vier-Komponenten-Instruktionsdesign-Modell wurde im Rahmen dieser Arbeit näher betrachtet, weil es den Transfer von prozeduralem Wissen unterstützt und eine Übung von Teilaufgaben vorsieht, die im Rahmen einer Gesamtaufgabe sicherheitskritisch sein können. In den

Empfehlungen wird außerdem ausführlich auf den Einsatz multimedialer Elemente eingegangen. Beschreibungen im Bereich des Entwicklungsprozesses fokussieren auf die Zielgruppenanalyse, die Definition von Lernzielen, Inhalten und Expertenwissen sowie auf das User Interface Design.

Abschließend wurde ein dreistufiges Evaluierungskonzept vorgestellt. Das Konzept untergliedert den Evaluierungsprozess in drei Ebenen, innerhalb derer das Gesamtkonzept, die Inhalte und die Benutzung bzw. der Lernerfolg eines Trainingssystems untersucht werden.

9.1 Ausblick

Im Folgenden wird auf wichtige Gesichtspunkte eingegangen, die in dieser Arbeit nicht betrachtet wurden. Die beschriebenen Punkte müssen Teil zukünftiger Arbeiten sein, damit die Empfehlungen möglichst vollständig sind und eine höhere Verbindlichkeit bekommen.

9.1.1 Szenariobasierte Entwicklung

Bei der Konzeption des LIVERSURGERYTRAINERS und des SPINESURGERYTRAINERS wurden die Szenarien in den frühen Phasen der Entwicklung eingesetzt und ihr Nutzen gezeigt. Für die Erstellung der Szenarien und ihren Einsatz für die Konzeption und Umsetzung wurden Empfehlungen abgeleitet. Die Szenarien wurden in dieser Arbeit nicht in späteren Phasen des Entwicklungsprozesses, z.B. im Rahmen der Evaluierung, eingesetzt. In den Empfehlungen gibt es deshalb bisher keine Hinweise für ihre Nutzung in diesem Entwicklungsschritt. Im Sinne der effizienten und effektiven Verwaltung der Szenarien muss bei einem Einsatz für die Evaluierung eines Systems über die Verwaltung und Zuordnung der Evaluierungsergebnisse zu den entsprechenden Szenarien nachgedacht werden.

9.1.2 Erweiterung der Empfehlungen

Die abgeleiteten Empfehlungen wurden bisher noch nicht für die Entwicklung eines völlig neuen Systems genutzt. Der Test der praktischen Umsetzbarkeit aller Hinweise im Zusammenhang sollte daher der nächste Schritt zukünftiger Arbeiten sein.

Erweiterungen der Empfehlungen sollten zum Aspekt der *Webbasiertheit von Lernsystemen* vorgenommen werden. Webbasierte Lernsysteme wurden in dieser Arbeit nur am Rand betrachtet, weil sie bei der Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINERS und SPINESURGERYTRAINERS keine Rolle gespielt haben. Webbasierte Lernplattformen erlauben neben der Vermittlung von Wissen die Vernetzung von Chirurgen und deren kooperative Erstellung von Qualifizierungsinhalten. Neue Technologien und interessante Fälle können zeitnah kommuniziert und diskutiert werden. Das im April 2010 gestartete Projekt SURGERYTUBE [Preim, 2010] beschäftigt sich mit der Erstellung einer Weiterbildungsplattform für die Qualifizierung

von Chirurgen. In diesem Zusammenhang werden Methoden und Techniken zur webbasierten Präsentation der chirurgischen Inhalte, im Speziellen der Falldaten und Videos, untersucht und erprobt.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Generierung der Inhalte. Es müssen *Autorenwerkzeuge* zur Verfügung gestellt werden, die es den Ärzten ermöglichen, in kurzer Zeit didaktisch wertvolle Fälle einzustellen und Videos aufzubereiten.

Die besondere Herausforderung liegt bei der Konzeption eines Editors für die *Videobearbeitung*. Die Videoaufnahmen einer Operation beinhalten den kompletten Eingriff. Die Videodatei ist zum einen in Bezug auf die Datenmenge viel zu groß und zum anderen ist sie zu lang und ungeeignet, um spezielle Aspekte des Eingriffs zu vermitteln. Eine hohe Bildqualität ist für die Darstellung kleiner anatomischer Strukturen unverzichtbar. Große Datenmengen führen allerdings zu hohen Upload-Zeiten und eine flüssige Darstellung des Videos ist schwer möglich. Das Videomaterial muss vor der Bereitstellung auf einer Plattform gesichtet, geschnitten und ggf. kommentiert werden. In Schliefke u. a. [2010] wurde ein Konzept der nutzerzentrierten Video-Content-Generierung für die SURGERYTUBE Plattform vorgestellt. Dabei wird vor dem Upload die clientseitige Rechnerleistung für das Zuschneiden des Videos und die Umwandlung in ein geeignetes Format verwendet. Erst dann wird das Video auf die Plattform geladen und die weitere Bearbeitung (z.B. Annotation) im Browser vorgenommen.

Unabhängig von den Empfehlungen muss über Konzepte für die *curriculare Integration* der chirurgischen Trainingssysteme nachgedacht werden. Die Nutzung der e-Learning Angebote erfolgt bisher überwiegend freiwillig. Sie ist nicht standardmäßig in die Aus-, Weiter- oder Fortbildung der Ärzte integriert. Ein häufig geäußerter Kritikpunkt des e-Learnings ist die fehlende soziale Komponente. Das Lehrkonzept des Blended Learnings bietet eine Kombination aus Präsenzveranstaltung und dem Einsatz von e-Learning Systemen. Bei Blended Learning Veranstaltungen können die Vorteile des e-Learnings und seine Möglichkeiten sowie der soziale Kontakt einer Präsenzveranstaltung zu ausgebildeten Lehrern bzw. Tutoren und anderen Lernenden genutzt werden.

Literaturverzeichnis

[Ackerman 1995] ACKERMAN, M. J.: Accessing the Visible Human Project. In: *D-Lib Magazine* (1995)

[Adler u. a. 2010] ADLER, S. ; MÖNCH, T. ; MECKE, R. ; PREIM, B. ; WEX, C.: Methoden für die patienten- und krankheitsfallspezifische Simulation minimal-invasiver Interventionen an der Leber. In: *Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte Chirurgie (CURAC)*, 2010, S. 215–220

[Ahlberg u. a. 2007] AHLBERG, G. ; ENOCHSSON, L. ; GALLAGHER, A.G. ; HEDMAN, L. ; HOGMAN, C. ; MCCLUSKY, D.A. ; RAMEL, S. ; SMITH, C.D. ; ARVIDSSON, D.: Proficiency-based virtual reality training significantly reduces the error rate for residents during their first 10 laparoscopic cholecystectomies. In: *American Journal of Surgery* 193 (2007), Nr. 6, S. 797–804

[Andreatta u. a. 2006] ANDREATTA, P. B. ; WOODRUM, D. T. ; BIRKMEYER, J. D. ; YELLAMANCHILLI, R. K. ; DOHERTY, G. M. ; GAUGER, P. G. ; MINTER, R. M.: Laparoscopic Skills Are Improved With LapMentor Training. In: *Annals of Surgery* 243 (2006), Nr. 6, S. 854–863

[Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Ärztekammern 2010] ARBEITSGEMEINSCHAFT DER DEUTSCHEN ÄRZTEKAMMERN: *Voraussetzungen und Kriterien für die Anerkennung von eLearning-Fortbildungsmaßnahmen / Strukturierte interaktive Fortbildung (Kategorie D) im Rahmen der Zertifizierung der ärztlichen Fortbildung*. `www.bundesaerztekammer.de`. Version: Februar 2010

[Auinger u. Stary 2005] AUINGER, A. ; STARY, C.: *Didaktikgeleiteter Wissenstransfer. Interaktive Informationsräume für Lern-Gemeinschaften im Web*. Deutscher Universitäts-Verlag, 2005

[Bade 2008] BADE, R.: *Interaktive und dynamische Visualisierungen für die chirurgische Ausbildung und Interventionsplanung*, Fakultät für Informatik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Diss., 2008

[Bade u. a. 2008] BADE, R. ; CORDES, J. ; MEWES, M. ; PREIM, B.: Interaction Techniques for Case Selection in Medical Computer Based Training Systems. In: HERCZEG, Michael (Hrsg.) ; KINDSMÜLLER, Martin C. (Hrsg.): *Workshop-Proceedings der Tagung Mensch und Computer*. Lübeck : Oldenbourg Verlag, September 2008, S. 247–256

[Baumgartner u. a. 2002] BAUMGARTNER, P. ; HÄFELE, K. ; HÄFELE, H.: E-Learning: Didaktische und technische Grundlagen. In: *Sonderheft des bm:bwk in der CD Austria* (2002), Mai

[Bednorz u. Schuster 2002] BEDNORZ, P. ; SCHUSTER, M.: *Einführung in die Lernpsychologie*. Utb, 2002

[Benyon u. a. 2005] BENYON, D. ; TURNER, S. ; TURNER, P.: *Designing Interactive Systems: People, Activities, Contexts, Technologies*. Addison Wesley, 2005

[Bern 2010] BERN, Universität: *Das Medizinstudium an der Universität Bern*. `http://www.medizin.unibe.ch`. Version: April 2010

[Berufsverband Deutscher Chirurgen e.V. 2010] BERUFSVERBAND DEUTSCHER CHIRURGEN E.V.: *Nachwuchskampagne - Chirurg werden*. `http://www.chirurg-werden.de/`. Version: April 2010

[Böhm 2005] BÖHM, W.: *Wörterbuch der Pädagogik*. Kröner, 2005

[Boeker u. Klar 2006] BOEKER, M. ; KLAR, R.: E-Learning in der ärztlichen Aus- und Weiterbildung. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsschutz, Gesundheitsforschung* 49 (2006), S. 405–411

[Bokranz u. Landau 2006] BOKRANZ, R. ; LANDAU, K.: *Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen: MTM-Handbuch*. Schäffer-Poeschel, 2006

[Broelsch u. a. 2003] BROELSCH, C.E. ; FRILLING, A. ; NADALIN, S. ; VALENTIN, G.C. ; KÜHL, H. ; GERKEN, G. ; MALAGO, M.: Leberlebendspende Die deutsche Erfahrung im internationalen Vergleich. In: *Chirurg* 74 (2003), S. 510–522

[Broering u. a. 2005] BROERING, D.C. ; BOK, P. ; MUELLER, L. ; WILMS, C. ; ROGIERS, X.: Splitting of the Middle Hepatic Vein in Full-Right Full-Left Splitting of the Liver. In: *Liver Transplantation* 11 (2005), S. 350–352

[Brown u. a. 1989] BROWN, J.S. ; COLLINS, A. ; DUGUID, P.: Situated Cognition and the Culture of Learning. In: *Educational Researcher* 18 (1989), Jan.-Feb., Nr. 1, S. 32–42

[Brusilovsky 2001] BRUSILOVSKY, P.: Adaptive Educational Hypermedia. In: *Proceedings of Tenth International PEG conference*, 2001, S. 8–12

[Bundesärztekammer 2007] BUNDESÄRZTEKAMMER: *Empfehlungen zur ärztlichen Fortbildung*. Mai 2007

[Burgert u. Neumuth 2010] *Kapitel* Analyse und Beschreibung chirurgischer Workflows. In: BURGERT, O. ; NEUMUTH, T.: *Computerassistierte Chirurgie*. Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH, 2010, S. 303–310

[Burgert u. a. 2007] BURGERT, O. ; NEUMUTH, T. ; AUDETTE, M. ; PÖSSNECK, A. ; MAYORAL, R. ; DIETZ, A. ; MEIXENSBERGER, J. ; TRANTAKIS, C.: Requirement specification for surgical simulation systems with surgical workflows. In: *Studies in health technology and informatics* 125 (2007), S. 58–63

[Carbonell u. Collins 1973] CARBONELL, J.R. ; COLLINS, A.M.: Natural Semantics in Artificial Intelligence. In: *3rd International Joint Conference of Artificial Intelligence*, 1973, S. 344–351

[Card u. a. 1983] CARD, S. ; MORAN, T.P. ; NEWELL, A.: *The Psychology of Human Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, 1983

[Carroll 2000] CARROLL, J.M.: Five reasons for scenario-based design. In: *Interacting with Computers* 13 (2000), S. 43–60

[Chumley-Jones u. a. 2002] CHUMLEY-JONES, H.S. ; DOBBIE, A. ; ALFORD, C.L.: Web-based Learning: Sound Educational Method or Hype? A Review of the Evaluation Literature. In: *Academic Medicine* 77 (2002), Nr. 10, S. S89–S93

[Clark u. Mayer 2002] CLARK, R.C. ; MAYER, R.E.: *E-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning*. Jossey-Bass Inc.,U.S., 2002

[Cohn 2004] COHN, M.: *User Stories Applied: For Agile Software Development*. Addison-Wesley Longman, 2004

[Cook 2005] COOK, D.A.: Learning and Cognitive Styles in Web-Based Learning: Theory, Evidence, and Application. In: *Academic Medicine* 80 (2005), März, Nr. 3, S. 266–278

[Cook u. Dupras 2004] COOK, D.A. ; DUPRAS, D.M.: A practical guide to developing effective web-based learning. In: *Journal of General Internal Medicine* 19 (2004), 06, Nr. 6, S. 698–707

[Cooper u. a. 2007] COOPER, A. ; REIMANN, R. ; CRONIN, D.: *About Face 3: The Essentials of Interaction Design.* John Wiley & Sons, 2007

[Cordes u. a. 2009] CORDES, J. ; DORNHEIM, J. ; PREIM, B.: Szenariobasierte Entwicklung von Systemen für Training und Planung in der Chirurgie. In: *i-com* 1/2009 (2009), S. 5–12

[Cordes u. a. 2008] CORDES, J. ; K.HINTZ ; FRANKE, J. ; BOCHWITZ, C. ; PREIM, B.: Conceptual Design and Prototyping Implementation of a Case-based Training System for Spine Surgery. In: HAMBACH, Sybille (Hrsg.) ; MARTENS, Alke (Hrsg.) ; URBAN, Bodo (Hrsg.): *Proc. of the 1st International eLBa Science Conference (e-Learning Baltics).* Rostock, 2008, S. 169–178

[Cordes u. a. 2007a] CORDES, J. ; MÜHLER, K. ; OLDHAFER, K. J. ; STAVROU, G. ; HILLERT, C. ; PREIM, B.: Szenariobasierte Entwicklung eines chirurgischen Trainingssystems. In: *Computer Based Teaching - Elektronisches Lehren und Prüfen in der Medizin und Zahnemdizin*, Shaker-Verlag, 2007, S. 22–30

[Cordes u. a. 2007b] 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: *Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte Chirurgie (CURAC)* (2007), S. 151–154

[Cordes u. a. 2006] CORDES, J. ; MÜHLER, K. ; PREIM, B.: Die Konzeption des Liver-SurgeryTrainers. In: *GI-Workshop Softwareassistenten - Computerunterstützung für die medizinische Diagnose und Therapieplanung*, Springer, 2006, S. 514–521

[Cordes u. Preim 2009] CORDES, J. ; PREIM, B.: Leitlinien für die Konzeption und Entwicklung chirurgischer Ausbildungs- und Trainingssysteme. In: *Workshop-Proceedings der Tagung Mensch und Computer*, 2009, S. 296–298

[Crossingham u. a. 2009] CROSSINGHAM, J.L. ; JENKINSON, J. ; WOOLRIDGE, N. ; GALLINGER, S. ; TAIT, G.A. ; MOULTON, C.-A.: Interpreting three-dimensional structures from two-dimensional images: A web-based interactive 3D teaching model of surgical liver anatomy. In: *Official Journal of The International Hepato-Pancreato-Biliary Association* 11 (2009), Nr. 6, S. 523–528

[Deci u. Ryan 1987] DECI, E.L. ; RYAN, R.M.: The support of autonomy and the control of behavior. In: *Journal of Personality and Social Psychology* 53 (1987), Nr. 6, S. 1024–1037

[Dodge 1995] DODGE, B.: Some Thoughts About WebQuests. In: *The Distance Educator* 1 (1995), Nr. 3, S. 12–15

[Eitel 2001] *Kapitel* Lernmodelle der Zukunft: Beispiel evidenzbasiertes Lernen. In: EITEL, Florian: *Lernmodelle der Zukunft am Beispiel der Medizin*. Hanns-Seidel-Stiftung e. V, 2001, S. 113–125

[Erbay u. a. 2003] ERBAY, N. ; RAPTOPOULOS, V. ; POMFRET, E.A. ; KAMEL, I.R. ; KRUSKAL, J.B.: Living Donor Liver Transplantation in Adults: Vascular Variants Important in Surgical Planning for Donors and Recipients. In: *American Roentgen Ray Society (AJR)* Bd. 181, 2003, S. 109–114

[Faulstich-Wieland u. Faulstich 2006] FAULSTICH-WIELAND, H. ; FAULSTICH, P.: *BA-Studium Erziehungswissenschaft: Ein Lehrbuch*. Rowohlt Tb., 2006

[Fischer u. a. 1999] FISCHER, M. ; AULINGER, B. ; BAEHRING, T.: Computer-based-Training (CBT). Fallorientiertes Lernen am PC mit dem CASUS/ProMediWeb-System. In: *Deutsche Medizinische Wochenschrift* 46 (1999), S. 1401

[Fischer 2001] *Kapitel* Problemorientiertes Lernen in der Medizin mit dem CASUS/ProMediWeb-Lernsystem. In: FISCHER, M.R.: *Lernmodelle der Zukunft am Beispiel der Medizin*. Hanns-Seidel-Stiftung e. V, 2001, S. 113–125

[Fischer u. a. 2008] FISCHER, M.R. ; HEGE, I. ; HÖRNLEIN, A. ; PUPPE, F. ; TÖNSHOFF, B. ; HUWENDIEK, S.: Virtuelle Patienten in der medizinischen Ausbildung: Vergleich verschiedener Strategien zur curricularen Integration. In: *Zeitschrift für Evident, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen* 102 (2008), Nr. 10, S. 648–653

[Fordis u. a. 2005] FORDIS, M. ; KING, J.E. ; BALLANTYNE, C.M. ; JONES, P.H. ; SCHNEIDER, K.H. ; SPANN, S.J. ; GREISINGER, S.B. G.: Comparison of the Instructional Efficacy of Internet-Based CME With Live Interactive CME Workshops. In: *Journal of the American Medical Association* 294 (2005), Nr. 9, S. 1043–1051

[Frericks u. a. 2004] FRERICKS, B.B. ; CALDARONE, F.C. ; NASHAN, B. ; HÖGEMANN SAVELLANO, D. ; STAMM, G. ; KIRCHHOFF, T.D. ; SHIN, H. ; SCHENK, A. ; SELLE, D. ; W.SPINDLER ; KLEMPNAUER, J. ; PEITGEN, H.O. ; GALANSKI, M.: 3D CT modeling of hepatic vessel architecture and volume calculation in living donated liver transplantation. In: *European Radiology* 14 (2004), S. 326–333

[Greiner-Perth u. a. 2002] GREINER-PERTH, R. ; BÖHM, H. ; SAGHIR, H. E.: Microscopically assisted percutaneous nucleotomy, an alternative minimally invasive procedure for the operative treatment of lumbar disc herniation: Preliminary results. In: *Neurosurgical Review* 25 (2002), Nr. 4, S. 225–227

[Gräsel 1997] GRÄSEL, C.: *Problemorientiertes Lernen*. Hogrefe Verlag, 1997

[Gudjons u. a. 1997] GUDJONS, H. ; TESKE, R. ; WINKEL, R. ; GUDJONS, H. (Hrsg.) ; TESKE, R. (Hrsg.) ; WINKEL, R. (Hrsg.): *Didaktische Therorien*. Bergmann + Helbig, 1997

[Gundlach u. a. 2000] GUNDLACH, M. ; BROERING, D. ; S.TOPP ; STERNECK, M. ; ROGIERS, X.: Split-Cava Technique: Liver Splitting for Two Adult Recipients. In: *Liver Transplantation* 6 (2000), S. 703–706

[Gustafson u. Branch 2002] *Kapitel* What is instructional design? In: GUSTAFSON, Kent L. ; BRANCH, Robert M.: *Trends and issues in instructional design and technology*. Prentice Hall, 2002, S. 16–25

[Haag 1998] HAAG, M.: *Plattformunabhängige, adaptive Lehr-/Lernsysteme für die medizinische Aus- und Weiterbildung*, Medizinischen Fakultät der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Diss., 1998

[Haake u. a. 2004] HAAKE, J. ; SCHWABE, G. ; WESSNER, M.: *CSCL-Kompendium: Lehr- und Handbuch zum computerunterstützten kooperativen Lernen*. Oldenbourg, 2004

[Hantscher u. Beringer 2003] HANTSCHER, M. ; BERINGER, J.: Customer-Centered New Application Design. In: *German Chapter -UPA Track*, 2003, S. 39–43

[Hassenzahl 2003] *Kapitel* The thing and I: understanding the relationship between user and product. In: HASSENZAHL, M.: *Funology: From Usability to Enjoyment*. Kluwer Academic Publishers, 2003, S. 31–42

[Hassenzahl u. a. 2003] HASSENZAHL, M. ; BURMEISTER, M. ; KOLLER, F.: AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In: SZWILLUS, G. (Hrsg.) ; ZIEGLER, J. (Hrsg.): *Workshop-Proceedings der Tagung Mensch und Computer*, B. G. Teubner, 2003, S. 187–196

[Hege u. a. 2008] HEGE, I. ; ADLER, M. ; BERMAN, N.B. ; FISCHER, M.R.: Casus–15 Years Of E-learning Experience. In: *Medbiquitous anual conference*. Baltimore, 2008

[Helmberger u. a. 2005] HELMBERGER, Th. ; HOFFMANN, R.-Th. ; JAKOBS, T. ; LEIBECKE, Th. ; LUBIENSKI, A. ; REISER, M.: Tumorablation der Leber. In: *Der Radiologe* 45 (2005), S. 55–62

[Herczeg 2005] HERCZEG, M.: *Software-Ergonomie. Grundlagen der Mensch-Computer-Kommunikation*. Oldenbourg, 2005

[Höhne u. a. 2003a] HÖHNE, K.H. ; PFLESSER, B. ; POMMERT, A. ; K.PRIESMEYER ; RIEMER, M. ; SCHIEMANN, T. ; R.SCHUBERT ; TIEDE, U. ; FREDERKING, H. ; GEHRMANN, S. ; NOSTER, S. ; SCHUMACHER, U.: *Voxel-Man 3D-Navigator: Inner Organs*. Springer Electronic Media, 2003

[Höhne u. a. 2003b] HÖHNE, K.H. ; PFLESSER, B. ; POMMERT, A. ; PRIESMEYER, K. ; RIEMER, M. ; SCHIEMANN, T. ; SCHUBERT, R. ; TIEDE, U. ; FREDERKING, H. ; GEHRMANN, S. ; NOSTER, S. ; SCHUMACHER, U.: *Voxel-Man 3D-Navigator, 1 DVD-ROM Brain and Skull: Regional, Functional, and Radiological Anatomy.* Springer Electronic Media, 2003

[Hochschild 2005] HOCHSCHILD, J.: *Strukturen und Funktionen begreifen. Funktionelle Anatomie - Therapierelevante Details: Grundlagen zur Wirbelsäule, HWS und Schädel, BWS und Brustkorb, obere Extremität: Band 1*. Thieme, 2005

[Hoffmann 2004] *Kapitel* Problemorientiertes Lernen. In: HOFFMANN, Nicole: *CSCL-Kompendium: Lehr- und Handbuch zum computerunterstützten kooperativen Lernen*. Oldenbourg, 2004, S. 245–251

[Holmer u. Lehmann 2010] HOLMER, C. ; LEHMANN, K.: *eLearning Chirurgie*. `http://chilearning.charite.de/`. Version: Februar 2010

[Huwendiek u. a. 2006] HUWENDIEK, S. ; HÖCKER, S. Köpf1 • B. ; HEID, J. ; BAUCH, M. ; BOSSE, H.M. ; M.HAAG ; J.LEVEN, F. ; HOFFMANN, G. F. ; TÖNSHOFF, B.: Fünf Jahre Erfahrung mit dem curricularen Einsatz des fall- und webbasierten Lernsystems CAMPUS-Pädiatrieän der Medizinischen Fakultät Heidelberg. In: *GMS Zeitschrift für Medizinische Ausbildung* 1 (2006), S. 71–72

[Inselberg 1985] INSELBERG, A.: The plane with parallel coordinates. In: *The Visual Computer* 1 (1985), S. 69–92

[Karat 1995] *Kapitel* Scenario Use in the Design of a Speech Recognition System. In: KARAT, J.: *Scenario-based design: envisioning work and technology in systems development*. John Wiley & Sons Inc, 1995, S. 109–133

[Kearns 2008] KEARNS, S.K.: *E-Learning: The future of Pilot Safety Training*. `http://osrm.ssc.uwo.ca`. Version: 2008

[Kellermann u. a. 2010] KELLERMANN, K. ; MÖNCH, J. ; PREIM, B. ; FRANKE, J. ; BOCHWITZ, C.: Interaktives 3D-basiertes Training der Planung von Eingriffen an der Wirbelsäule. In: *CURAC*, 2010, S. 191–201

[Klar u. a. 2003] KLAR, E. ; BIRTH, M. ; BECHSTEIN, W.O. ; GÜNTHER, R.W. ; TACKE, J. ; HELMBERGER, T. ; FREUND, M.: Multimodale Therapie von Lebermetastasen - Interdisziplinäres Gespräch. In: *Chirurgische Gastroenterologie* 19 (2003), S. 384–390

[Krapp u. Weidenmann 2001] KRAPP, A. ; WEIDENMANN, B.: *Pädagogische Psychologie*. Urban und Schwarzenberg, 2001

[Krebsforschungszentrum 2009] KREBSFORSCHUNGSZENTRUM, Deutsches: *Krebsatlas*. `http://www.dkfz-heidelberg.de`. Version: November 2009

[Krämer u. a. 2001] KRÄMER, J. ; KÖSTER, O. ; KRÄMER, R. ; SCHMID, G.: *MRT-Atlas der Lendenwirbelsäule*. Thieme, 2001

[Lamadé u. a. 2000] LAMADÉ, W. ; GLOMBITZA, G. ; FISCHER, L. ; CHIU, P. ; CÁRDENAS, C.E. ; THORN, M. ; MEINZER, H.P. ; GRENACHER, L. ; BAUER, H. ; LEHNERT, T. ; HERFARTH, C.: The impact of 3-Dimensional Reconstructions on Operation Planning in Liver Surgery. In: *Archives of Surgery* 135 (2000), Nr. 11, S. 1256–1261

[Lamadé u. a. 2005] LAMADÉ, W. ; ULMER, C. ; F.RITTER ; H.O.PEITGEN ; G.OTTO ; THON, K.P.: Virtuelle Operationsplanung: Aktueller Stand und Perspektiven. In: *chirurgische Gastroenterologie* 21 (2005), Nr. 2, S. 7–13

[Lang u. a. 2005] LANG, H. ; RADTKE, A. ; HINDENNACH, M. ; SCHROEDER, T. ; FRÜHAUF, N.R. ; MALAGÓ, M. ; BOURQUAIN, H. ; PEITGEN, H.O. ; OLDHAFER, K.J. ; BROELSCH, C.E.: Impact of Virtual Tumor Resection and Computer-Assisted Risk Analysis on Operation Planning and Intraoperative Strategy in Major Hepatic Resection. In: *Archives of Surgery* 140 (2005), Nr. 7, S. 629–638

[Lang u. Schenk 2010] *Kapitel* Planung von Leberresektionen. In: LANG, H. ; SCHENK, A.: *Computerassistierte Chirurgie*. Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH, 2010, S. 515–524

[Lauer u. a. 2010] LAUER, W. ; MÖNCH, J. ; STIER, A.: Das SOMIT Querschnittsprojekt Ausbildung & Training. In: *Biomedizinische Technik*, 2010

[Lehmann 2004] LEHMANN, T.M.: *Handbuch der medizinischen Informatik*. Hanser Fachbuchverlag, 2004

[Lersmacher 2002] LERSMACHER, J.: Möglichst effektiv und schonend ran an den Kern des Problems - Minimal-invasive Therapie der Bandscheibenvorfälle. In: *Orthopädie & Rheuma* (2002), Nr. 4

[Leutert u. Schmidt 1999] LEUTERT, G. ; SCHMIDT, W.: *Systematische und funktionelle Anatomie des Menschen für medizinische Assistenzberufe*. Urban & Fischer, 1999

[Leven u. a. 2006] LEVEN, F.-J. ; BAUCH, M. ; HAAG, M.: E-Learning in der Medizinerausbildung in Deutschland: Status und Perspektiven. In: *GMS Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie* 2 (2006), Nr. 3

[Lüring u. Grifka 2006] LÜRING, C. ; GRIFKA, J.: Medizinstudium: Neue Lernkonzepte gegen den Nachwuchsmangel. In: *Deutsches Ärzteblatt* 103 (2006), S. A–500 / B–432 / C–412

[Mader u. Stöckl 1999] MADER, G. ; STÖCKL, W. ; BAUMGARTNER, P. (Hrsg.) ; PAYR, S. (Hrsg.): *Virtuelles Lernen. Begriffsbestimmung und aktuelle empirische Befunde. Band 5 der Reihe Lernen mit interaktiven Medien.* Studien Verlag, 1999

[Maiden u. a. 1999] MAIDEN, N. ; MINOCHA, S. ; SUTCLIFFE, A. ; MANUEL, D. ; RYAN, M.: A Co-operative Scenario-Based Approach to Acquisition and Validation of System Requirements : How Exceptions Can Help. In: *Interacting with Computers* 11 (1999), Nr. 6, S. 645–664

[Meinzer u. a. 2004] MEINZER, H.-P. ; P. SCHEMMER AND, M. S. ; NOLDEN, M. ; HEIMANN, T. ; YALCIN, B. ; RICHTER, G.M. ; KRAUS, T. ; BÜCHLER, M.W. ; THORNA, M.: Computer-Based Surgery Planning for Living Liver Donation. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34 (2004), S. 291–295

[Meinzer u. a. 2002] MEINZER, H.-P. ; THORN, M. ; CÁRDENAS, C.E.: Computerized planning of liver surgery—an overview. In: *Computers & Graphics* 26 (2002), S. 569–576

[Merrill 1999] *Kapitel* What is instrsuctional-design theory and how is it changing? In: MERRILL, M. D.: *Instructional-Design Theories and Models: A New Paradigm of Instructional Theory, Volume II: 2 (Instructional Design Theories & Models)*. Lawrence Erlbaum Assoc Inc., 1999, S. 397–424

[van Merriënboer u. Kester 2005] *Kapitel* The Four-Component Instructional Design Model: Multimedia Principles in Environments for Complex Learning. In: MERRIËNBOER, J. J. G. ; KESTER, L.: *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press, 2005, S. 71–96

[van Merriënboer u. a. 2002] MERRIËNBOER, J.J.G. van ; CLARK, R.E. ; CROOK, M.B.M. de: Blueprints for Complex Learning: The 4C/ID-Model. In: *Educational Technology Research and Development* 50 (2002), Nr. 2, S. 39–64

[Mewes 2007] MEWES, M.: *Implementierung und Evaluierung von Visualisierungs- und Interaktionstechniken in Patientendatenbanken*, Fakultät für Informatik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Diplomarbeit, 2007

[Mühler 2010] MÜHLER, K.: *Animationen und Explorationstechniken zur Unterstützung der chirurgischen Operationsplanung*, Fakultät für Informatik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Diss., 2010

[Mühler u. a. 2006] MÜHLER, K. ; BADE, R. ; B.PREIM: Adaptive script based animations for intervention planning. In: *Proc. of Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)*, Springer, 2006 (Lecture Notes in Computer Science), S. 984–991

[Mühler u. a. 2008] MÜHLER, K. ; CORDES, J. ; TIETJEN, C. ; PREIM, B.: Richtlinien für die Gestaltung chirurgischer Planungs- und Trainings-Software. In: BARTZ, Dirk (Hrsg.) ; BOHN, Stefan (Hrsg.) ; HOFFMANN, Jürgen (Hrsg.): *Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte Chirurgie (CURAC)*. Leipzig, September 2008 2008, S. 241–242

[Mirschel 2004] MIRSCHEL, S.: *Erstellung eines Prototypen für ein fallbasiertes Lernsystem in der Leberchirurgie*, Fakultät für Informatik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Diplomarbeit, 2004

[Mönch u. a. 2011] MÖNCH, J. ; LAUER, W. ; PREIM, B.: Leitlinien für die Konzeption chirurgischer Ausbildungs- und Trainingssysteme. In: *i-com* (2011), S. to appear

[Mutter u. a. 2005] MUTTER, D. ; RUBINO, F. ; TEMPORAL, M.S. ; MARESCAUX, J.: Surgical education and internet-based simulation: The World Virtual University. In: *Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies* 14 (2005), Nr. 4-5, S. 267–274

[National Flight Academy 2010] NATIONAL FLIGHT ACADEMY: *UWF Curriculum Design Plan*. `http://nationalflightacademy.com/`. Version: Aptil 2010

[Niegemann u. a. 2004] NIEGEMANN, H. M. ; HESSEL, S. ; HOCHSCHEID-MAUEL, D. ; ASLANSKI, K.: *Kompendium E-Learning*. Springer Verlag, 2004

[Niegemann 1995] NIEGEMANN, H.M.: *Computergestützte Instruktion in Schule, Aus- und Weiterbildung*. Peter Lang, 1995

[Nielsen 1994] NIELSEN, Jakob: Enhancing the explanatory power of usability heuristics. In: *CHI '94: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM, 1994, S. 152–158

[Oldhafer u. a. 2006] OLDHAFER, K. J. ; BOURQUAIN, H. ; STAVROU, G. A.: Die Leberresektion (Teil I) – Anatomische Grundlagen, Indikationen und präoperative Planung. In: *Zentralblatt für Chirurgie* 131 (2006), April, Nr. 2

[Oldhafer u. Stavrou 2009] OLDHAFER, K.J. ; STAVROU, G.A.: *Krankheitsbilder - Leber und Gallenwege*. `http://www.chirurgie-celle.com`. Version: November 2009

[Oppermann u. a. 1991] OPPERMANN, R. ; MURCHNER, B. ; PAETAU, M.: *Evaluation von Dialogsystemen. Der software-ergonomische Leitfaden EVADIS*. Gruyter, Walter de GmbH, 1991

[Paramythis u. Loidl-Reisinger 2004] PARAMYTHIS, A. ; LOIDL-REISINGER, S.: Adaptive Learning Environments and e-Learning Standards. In: *Electronic Journal of eLearning* 2 (2004), Nr. 1, S. 181–194

[Petschenka u. a. 2004] *Kapitel* Lernaufgaben gestalten. Lerner aktivieren und didaktisch sinnvolle Lernaufgaben. In: PETSCHENKA, A. ; OJSTERSEK, N. ; KERRES, M.: *Handbuch E-Learning*. Köln : Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst, 2004

[Pflesser u. a. 2000] 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 (2000), S. 259–264

[Pohl u. Rupp 2009] POHL, K. ; RUPP, C.: *Basiswissen Requirements Engineering: Aus- und Weiterbildung nach IREB-Standard zum Certified Professional for Requirements Engineering Foundation Level*. dpunkt Verlag, 2009

[Pollmann 2008] POLLMANN, S.: *Allgemeine Psychologie*. UTB, 2008

[Preim 1998] PREIM, B.: *Interaktive Illustrationen und Animationen zur Erklärung komplexer räumlicher Zusammenhänge*, Fakultät für Informatik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Diss., 1998

[Preim 1999] PREIM, B.: *Entwicklung interaktiver Systeme*. Springer, Berlin, 1999

[Preim 2010] PREIM, B.: *Projektbeschreibung Verbundvorhaben Surgery Tube - Web 2.0 Technologien in der Qualifizierung von Chirurgen (Teilprojekt Didaktische Konzeption und webbasierte 3D-Visualisierungen)*. `http://www.forschung-sachsen-anhalt.de`. Version: 2010

[Preim u. Bartz 2007] PREIM, B. ; BARTZ, D.: *Visualization in Medicine. Theory, Algorithms, and Applications*. Morgan Kaufmann, 2007

[Preim u. a. 2002] PREIM, B. ; BOURQUAIN, H. ; SELLE, D. ; OLDHAFER, K.J. ; PEITGEN, H.O.: Resection Proposals for Oncologic Liver Surgery based on Vascular Territories. In: AL., H.U. L. (Hrsg.): *Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS)*, Springer, 2002

[Preim u. Dachselt] PREIM, B. ; DACHSELT, R.: *Interaktive Systeme 2 (in Vorbereitung)*. Springer

[Preim u. Dachselt 2010] PREIM, B. ; DACHSELT, R.: *Interaktive Systeme 1: Grundlagen, Graphical User Interfaces, Informationsvisualisierung*. Springer, 2010

[Preim u. a. 1998] PREIM, B. ; MICHEL, R. ; K.HARTMANN ; STROTHOTTE, T.: Figure Captions in Visual Interfaces. In: *Advanced Visual Interfaces: An International Workshop (AVI)*, 1998, S. 235–246

[Radtke u. a. 2006] RADTKE, A. ; BOCKHORN, M. ; SCHROEDER, T. ; LANG, H. ; PAUL, A. ; NADALIN, S. ; SANER, F. ; SCHENK, A. ; BROELSCH, C. E. ; MALAGÓ, M.: Computergestützte Operationsplanung bei Leberlebendspenden. In: *Zentralblatt für Chirurgie* 131 (2006), S. 69–74

[Rao u. Card 1994] RAO, R. ; CARD, S.K.: The Table Lens: Merging graphical and symbolic representations in an interactive focus + context visualization for tabular information. In: *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1994, S. 318–322

[Reich 2009] REICH, K.: *Methodenpool*. `http://methodenpool.uni-koeln.de`. Version: 2009. – zuletzt abgerufen 27.11.2009

[Roberson Museum and Science Center 2000] ROBERSON MUSEUM AND SCIENCE CENTER: *The Link Flight Trainer - A Historic Mechanical Engineering Landmark*. `www.asme.org/`. Version: 2000

[Rosson u. Carroll 2001] ROSSON, M. B. ; CARROLL, J. M.: *Usability Engineering: Scenario-Based Development of Human-Computer Interaction*. Morgan Kaufmann, 2001

[Salden u. a. 2006] SALDEN, R.J. C. M. ; PAAS, F. ; VAN DER PAL, J. ; VAN MERRIENBOER, J.J.G.: Dynamic Task Selection in Flight Management System Training. In: *International Journal of Aviation Psychology* 2 (2006), S. 157–174

[Sarodnick u. Brau 2006] SARODNICK, F. ; BRAU, H.: *Methoden der Usability Evaluation: Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung*. Huber, 2006

[Schank u. a. 1999] *Kapitel* Learning by Doing. In: SCHANK, R.C. ; BERMAN, T.R. ; MACPHERSON, K.A.: *Instructional-Design Theories and Models: A New Paradigm of Instructional Theory, Volume II: 2 (Instructional Design Theories & Models)*. Lawrence Erlbaum Assoc Inc., 1999, S. 161–181

[Schenk u. a. 2008] SCHENK, A. ; ZIDOWITZ, S. ; BOURQUAIN, H. ; HINDENNACH, M. ; HANSEN, C. ; HAHN, H. ; PEITGEN, H.-O.: Clinical relevance of model based computer-assisted diagnosis and therapy. In: *SPIE Medical Imaging: Computer-Aided Diagnosis* Bd. 6915, 2008. – Paper 691502

[Schimanke u. Weber 2008] SCHIMANKE, W. ; WEBER, T: Zertifizierte Fortbildung - E-Learning für Orthopäden. In: *Deutsches Ärzteblatt* 105 (2008), Nr. 44, S. A 2336

[Schliefke u. a. 2010] SCHLIEFKE, H. ; MÜHLER, K. ; PREIM, B.: Nutzerzentrierte Video-Content-Generierung für die webbasierte chirurgische Aus- und Weiterbildung mit SurgeryTube. In: *Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte Chirurgie (CURAC)*, 2010, S. 195–198

[Schünke u. a. 2005a] SCHÜNKE, M. ; SCHULTE, E. ; SCHUMACHER, U.: *Pometheus, Lern-Atlas der Anatomie, Hals und Innere Organe*. Stuttgart : Georg Thieme Verlag, 2005

[Schünke u. a. 2005b] SCHÜNKE, M. ; SCHULTE, E. ; SCHUMACHER, U.: *Prometheus Lernatlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. Thieme, 2005

[Scholz u. a. 2006] SCHOLZ, W. ; FASSNACHT, U. ; ÖCHSNER, W. ; STRACKE, S. ; WALDMANN, U.M. ; FRIEDL, R. ; LIEBHARDT, H.: Ulmer Qualitätskriterienkatalog für medizinische Lernprogramme. In: *GMS Zeitschrift für Medizinische Ausbildung* 23 (2006), Nr. 1

[Schulmeister 2002] SCHULMEISTER, R.: *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme: Theorie-Didaktik- Design*. Oldenbourg, 2002

[Schweer 1996] SCHWEER, M.: *Vertrauen in der pädagogischen Beziehung*. Verlag Hans Huber, 1996

[Schweizerische Gesellschaft für Chirurgie 2000] SCHWEIZERISCHE GESELLSCHAFT FÜR CHIRURGIE: *Fortbildungsprogramm der Schweizerischen Gesellschaft für Chirurgie*. `www.sgc-ssc.ch`. Version: Juni 2000

[Schweizerisches Institut für ärztliche Weiter- und Fortbildung 2006] SCHWEIZERISCHES INSTITUT FÜR ÄRZTLICHE WEITER- UND FORTBILDUNG: *Facharzt für Chirurgie - Weiterbildungsprogramm vom 1. Juli 2006*. `http://www.fmh.ch`. Version: Juli 2006

[Selle u. a. 2002] SELLE, D. ; PREIM, B. ; SCHENK, A. ; PEITGEN, H.O.: Analysis of vasculature for liver surgical planning. In: *IEEE Transactions on Medical Imaging* Bd. 21, 2002, S. 1344–1357

[Shneiderman 1996] SHNEIDERMAN, B.: The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations. In: *IEEE Symposium on Visual Languages* (1996), S. 336–343

[Shneiderman u. Plaisant 2009] SHNEIDERMAN, Ben ; PLAISANT, Catherine: *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley Longman, 2009

[simBa - Schweizerisches Zentrum für medizinische Simulation 2010] SIMBA - SCHWEIZERISCHES ZENTRUM FÜR MEDIZINISCHE SIMULATION: *Weltweit erster Operationssaal-Simulator in Basel*. `www.simulation.ch`. Version: Juli 2010

[Simbionix 2009] SIMBIONIX: *Lap Mentor Product Brochure*. `http://www.simbionix.com`. Version: November 2009

[Sönnichsen u. a. 2005] SÖNNICHSEN, A.C. ; WALDMANN, U.-M. ; VOLLMAR, H.C. ; GENSICHEN, J.: E-Learning: Aktueller Stand und Chancen in der Allgemeinmedizin. In: *GMS Zeitschrift für Medizinische Ausbildung*. 22 (2005), Nr. 3

[Soler u. a. 2000] SOLER, L. ; DELINGETTE, H. ; MALANDAIN, G. ; MONTAGNAT, J. ; AYACHE, N. ; KOEHL, C. ; DOURTHE, O. ; MALASSAGNE, B. ; SMITH, M. ; MUTTER, D. ; MARESCAUX, J.: Fully automatic anatomical, pathological, and functional segmentation from CT scans for hepatic surgery. In: *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* Bd. 3979, 2000, S. 246–255

[Sourina u. Sourin 2000] SOURINA, O. ; SOURIN, A.: Virtual Orthopedic surgery training on personal computer. In: *International Journal of Information Technology* 6 (2000), Nr. 1, S. 16–29

[Stelzner 1997] STELZNER, M.: Spezialisierung in der Chirurgie. In: *Der Chirurg* 68 (1997), S. 888–891

[Stoller u. a. 1999] STOLLER, David ; PRIMAL ; WILKINS, R.: *Interactive Knee Radiology Edition*. Primal Pictures Ltd, 1999

[Tanzer u. Buck 2006] TANZER, S. ; BUCK, B.: Das Szenario als Werkzeug in der Technischen Dokumentation - Ein benutzerorientierter Ansatz. In: *Tagungsband der tekom-Jahrestagung*, 2006

[Thorn u. a. 2004] THORN, M. ; HEIMANN, T. ; SONEK, C. ; SCHÖBINGER, M. ; SCHEMMER, P. ; GRENACHER, L. ; RICHTER, G.M. ; KRAUS, T. ; BÜCHLER, M.W. ; MEINZER, H.P.: OrgaNicer - Eine Visualisierungssoftware für die Operationsplanung in der Leberchirurgie. In: *Aktuelle Trends in der Softwareforschung - Tagungsband zum doIT Software-Forschungstag 2003*, 2004

[Walter u. a. 2008] WALTER, J. ; BURDELSKI, M. ; BRÖRING, D.C.: Chancen und Risiken der Leber-Lebendspende-Transplantation. In: *Deutsches Ärzteblatt* 105 (2008), Nr. 6, S. 101–107

[Weber 2006] WEBER, C.: *Entwicklung und Evaluation mediendidaktischer Konzepte zur Computer-basierten Lernerfolgskontrolle im Fach Molekulare Pharmazie*, Philosophisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Basel, Diss., 2006

[Weber u. a. 2005] WEBER, S. ; PRAUSE, G. ; LUETH, T.C. ; PEITGEN, H.O.: Image-Guided Planning and Intra-Operative Navigation in Open Liver Surgery. In: *Biomedizinische Technik*, 2005

[Welp u. a. 2006] WELP, C. ; SIEBERS, S. ; H.ERMERT ; WERNER, J.: Investigation of the influence of blood flow rate on large vessel cooling in hepatic radiofrequency ablation. In: *Biomedizinische Technik* 51 (2006), Nr. 5/6, S. 337–346

[Wendt 2003] WENDT, M.: *Praxisbuch CBT und WBT konzipieren, entwickeln, gestalten*. Carl Hanser Verlag, 2003

[Wieking 2005] WIEKING, R.: *Problemorientiertes Lernen oder fächerorientierter Unterricht im Medizinstudium?*, Fachbereich Medizin der Universität Hamburg, Diss., 2005

[Wirth u. a. 2004] WIRTH, Carl J. ; ZICHNER, Ludwig ; KRÄMER, Jürgen: *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie. Wirbelsäule und Thorax. Das Standardwerk für Klinik und Praxis*. Thieme, 2004

[Wutoh u. a. 2004] WUTOH, R. ; BOREN, S. A. ; A.BALAS: elearning: A Review of Internet-Based Continuing Medical Education. In: *The Journal of Continuing Education in the Hedth Professions* 24 (2004), S. 20–30

[Zumbach 2002] *Kapitel* Goal-Based Scenarios. In: ZUMBACH, J.: *E-Learning: Die Revolution des Lernens gewinnbringend einsetzen*. Klett-Cotta, 2002, S. 67–82

[Zumbach 2006] *Kapitel* Problembasiertes Lernen: Überlegungen und Ansatz für eine lernerzentrierte Didaktik. In: ZUMBACH, J.: *245-260*. Hogrefe, 2006

[Zumbach u. a. 2000] ZUMBACH, J. ; MEHRABI, A. ; SCHWARZER, H. ; RENTZ, C. ; REIMANN, P. ; HERFARTH, Ch. ; KALLINOWSKI, F.: Wie beurteilen Studierende CBT-Module? Evaluation von Trainingsprogrammen in der Chirurgie. In: KOOP, A. (Hrsg.) ; NOVAK, D. (Hrsg.): *CBT in der Medizin*. Aachen : Shaker, 2000, S. 113–125

[Zumbach u. a. 2004] ZUMBACH, J. ; STARKLOFF, P. ; SCHMITT, S.: Einfluss von Motivation und Didaktischem Design in E-Learning-Umgebungen. In: *i-com* 2 (2004), S. 27–34