

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Fakultät für Informatik



Diplomarbeit

Erstellung eines Prototypen für ein fallbasiertes Lernsystem in der Leberchirurgie

Sebastian Mirschel

Institut für Simulation und Graphik

Erstellung eines Prototypen für ein fallbasiertes Lernsystem in der Leberchirurgie

Diplomarbeit

an der
Fakultät für Informatik
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Verfasser: SEBASTIAN MIRSCHEL
geboren am 13. Juni 1977 in Görlitz
Matrikel-Nr: 155888

Prüfer: Prof. Dr. BERNHARD PREIM
Dr.-Ing. STEFAN SCHLECHTWEG

Betreuer: Prof. Dr. BERNHARD PREIM
Dipl.-Ing. RAGNAR BADE

Beginn: 1. November 2003
Ende: 30. April 2004

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meines Studiums der Computervisualistik an der Fakultät für Informatik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Dabei standen mir viele Menschen hilfreich zur Seite, denen ich an dieser Stelle herzlich danken möchte.

An erster Stelle stehen dabei meine Eltern, die meinen Lebensweg mit Wärme und Verständnis begleitet haben. Mit ihrer Hilfe war es möglich, das Studium zügig und erfolgreich zu absolvieren.

Ein besonderer Dank gilt meinen beiden Betreuern, Ragnar Bade und Bernhard Preim, die mir mit viel Rat und Tat bei dem Entwurf und der Realisierung des LIVERSURGERYTRAINER zur Seite standen. Sie halfen mir aber vor allem in der Methodik und Ausgestaltung der Arbeit. In diesem Zusammenhang möchte ich auch Christian Tietjen für die sehr gute Zusammenarbeit bei der Erstellung des Fragebogens danken.

Weiterer Dank gilt sowohl dem klinischen Kooperationspartner Prof. Dr. Karl J. Oldhafer und seinem Team für die zur Verfügung gestellten Falldaten und die faszinierenden Einblicke in den chirurgischen Alltag als auch MEVIS für die analysierten Falldaten, die freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden.

Ein großer Dank geht an die zahlreichen geduldigen Korrekturleser, die durch ihr Bemühen die Arbeit in Schrift und Bild verbessert haben. Insbesondere meiner Freundin Christine und meiner Tochter Alina möchte ich für ihre Geduld und Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit danken.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Sebastian Mirschel (Matrikel-Nr. 155888), die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur angefertigt zu haben.

Sebastian Mirschel, im April 2004

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Ziele und Aufgabenschwerpunkte	2
1.3	Ergebnisse	3
1.4	Aufbau	3
2	Anatomie und Chirurgie der Leber	5
2.1	Chirurgische und funktionelle Anatomie	5
2.1.1	Lage und Gestalt der Leber	6
2.1.2	Äußere und innere Einteilung	6
2.1.3	Gefäßsysteme und Gallengänge	8
2.1.4	Wichtige anatomische Variationen	9
2.2	Tumorerkrankungen der Leber	10
2.2.1	Benigne Tumoren	10
2.2.2	Maligne Tumoren	11
2.3	Diagnostische Verfahren zur Beurteilung von Leberparenchymerkrankungen	12
2.3.1	Untersuchungen	12
2.3.2	Präoperative bildgebende Verfahren	13
2.4	Therapieformen	15
2.4.1	Resektion	15
2.4.2	Weitere Verfahren	17
2.4.3	Entscheidung der Therapiestrategie	18
2.5	Therapieplanung	18
2.5.1	Probleme der konventionellen Therapieplanung	18
2.5.2	Einsatz der computergestützten Planung	19
3	Grundlagen medizinischer Lernsysteme und deren Anforderungen	23
3.1	Lernprozess und Lernziele	23
3.1.1	Lernparadigmen	24
3.1.2	Systematik der Lernziele	26
3.2	Unterstützung des Lernens durch computerbasierte Lernsysteme	27
3.2.1	Lernziele von CBT-Systemen	28
3.2.2	Konzepte von CBT-Systemen	28

3.2.3	Charakteristische Eigenschaften von CBT-Systemen	29
3.3	Anforderungsspezifikation	30
3.3.1	Zielgruppenspezifikation und Anforderungen	30
3.3.2	Anforderungen aus den lerntheoretischen Grundlagen	31
3.3.3	Anforderungen aus dem medizinischen Lerninhalt	32
3.4	Konkrete Lernziele für ein leberchirurgisches Lernsystem	32
4	Lernsysteme in der Medizin	35
4.1	Allgemeine medizinische Lernsysteme	36
4.2	Lernsysteme für die Chirurgie	37
4.3	Lernsysteme für die Leberchirurgie	37
4.4	Fazit	39
5	Entwurf des LIVERSURGERYTRAINER	41
5.1	Beschreibung und Systematisierung des Informationsraumes	41
5.1.1	Videoaufnahmen	42
5.1.2	Patientenakte	43
5.1.3	CT-Datensätze	44
5.1.4	Histologische Daten	45
5.1.5	Weitere Materialgenerierung	45
5.2	Konzeption und Struktur	47
5.2.1	Didaktisches Konzept	47
5.2.2	Interne Struktur	47
5.2.3	Das „Lehrbuch“ des LIVERSURGERYTRAINER	48
5.2.4	Die Fallbearbeitung	49
5.2.5	Layoutentwurf	50
5.3	Interaktionsformen	52
5.3.1	Fallauswahl	52
5.3.2	Navigationsmenü	54
5.4	Visualisierungsaufgaben	55
5.4.1	Authentische Darstellung anatomischer und pathologischer Strukturen	56
5.4.2	Nicht-Photorealistische Visualisierung	58
5.4.3	Hervorhebungstechniken	59
5.4.4	Steuerung der Visualisierungsparameter	63
5.4.5	Standardisierte Ansichten	63
6	Realisierung des LIVERSURGERYTRAINER	65
6.1	Entwicklungswerkzeuge	65
6.1.1	Auswahlkriterien	66
6.1.2	Diskussion der Entwicklungswerkzeuge	66
6.1.3	Zusammenfassung	67
6.2	Aspekte der Realisierung	69
6.2.1	Realisierung der Benutzungsoberfläche	69
6.2.2	Verwendete Formate	70
6.2.3	Authentische Darstellung am Beispiel des Tumors	70

6.3	Fallstudie	72
6.3.1	Fallauswahl	72
6.3.2	Start des Fallablaufs	73
6.3.3	Navigationsmenü	74
6.3.4	Lerneinheit „Diagnostik“	75
6.3.5	Die Patientenakte	75
6.3.6	Lerneinheit „Operabilität“	76
6.3.7	Lerneinheit „Resektabilität“	77
6.3.8	Lerneinheiten der Operation	78
6.3.9	Zusammenfassung	78
7	Evaluierung	81
7.1	Initiale Methodik	82
7.2	Methodik	83
7.3	Zu erwartende Ergebnisse	85
8	Zusammenfassung und Ausblick	87
8.1	Erreichte Ergebnisse	87
8.2	Ausblick	88
	Abbildungsverzeichnis	91
	Literaturverzeichnis	93
A	Diagramme	99
B	Fragebogen	101

Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der prototypischen Umsetzung eines Lernsystems für die fallbasierte Chirurgieausbildung. In diesem Zusammenhang werden insbesondere geeignete Interaktionsstrukturen und Visualisierungstechniken untersucht.

Klinischer Partner dieser Arbeit ist die *Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie* am Allgemeinen Krankenhaus Celle unter der Leitung von *Prof. Dr. Karl J. Oldhafer*. Prof. Oldhafer ist ein führender Spezialist der Leberchirurgie und stellt zusammen mit den Assistenz- und Fachärzten seiner Klinik (Zielgruppe des Lernsystems) die Datengrundlage, das Expertenwissen und ausführliche Diskussionen zur Verfügung. Als weiterer Partner fungiert das *Centrum für Medizinische Diagnosesysteme und Visualisierung (MEVIS)* in Bremen, welches die umfassenden Daten der Leberanalyse bereitstellt.

1.1 Motivation

Das Lernen und die Weiterbildung in der Medizin sind ein unverzichtbarer Teil des ärztlichen Berufes. Neue Erkenntnisse zu Erkrankungen und Techniken muss sich der Arzt regelmäßig aneignen und in der Klinik anwenden können. Der Transfer von Spezialwissen und Erfahrungen ist insbesondere in der chirurgischen Ausbildung durch starke Abhängigkeiten gekennzeichnet. Einerseits ist der auszubildende Arzt von den wenigen chirurgischen Experten abhängig, die oft nur lokal verfügbar sind. Sie besitzen bedingt durch ihre langjährige Erfahrung ein umfangreiches und repräsentatives Fallwissen.

Andererseits ist die Qualität der Ausbildung mit den aktuell verfügbaren klinischen Fällen korreliert. Der Aufbau von Fallwissen ist für die professionelle Entwicklung des Arztes wesentlich. Dieses Wissen kann vor allem in der Chirurgie nicht einfach in deklarativer Form vermittelt werden; es muss an Falldaten praxisnah vermittelt werden.

Vor allem im Bereich der Leberchirurgie hat die fallbasierte Ausbildung einen hohen Stellenwert. Die Eingriffe an der Leber sind auf Grund der patientenspezifischen und variantenreichen

1 Einleitung

Anatomie und Pathologie schwierig und besitzen ein hohes Risiko. Für die Durchführung muss sich der Arzt über eine langjährige Ausbildung zunächst zum „Facharzt für Chirurgie“ und darauf aufbauend zum „Viszeralchirurgen“ spezialisieren.

Folglich braucht die leberchirurgische Ausbildung repräsentative Patientenfälle, an denen der auszubildende Arzt das Handling und die Erfahrung infolge der aktiven Bearbeitung erhält. Das dafür notwendige Fallspektrum steht in der Praxis nur an wenigen Zentren (speziell Universitätskliniken) zur Verfügung. Im chirurgischen Alltag ist es somit erschwert möglich, eine praxisgerechte Ausbildung zu gewährleisten. Eine Möglichkeit, reale Fälle unabhängig von der Verfügbarkeit von Patienten mit den entsprechenden Erkrankungen zu bearbeiten, stellt deshalb eine sinnvolle Ergänzung der bisherigen chirurgischen Ausbildung dar.

Eine zusätzliche Motivation dieser Arbeit beruht auf der Tatsache, dass die aktuelle ärztliche Approbationsordnung [BMGS, 2002] eine patientenorientierte Ausbildung explizit vorschreibt, woraus sich die Notwendigkeit des verstärkten fallbasierten Lernens ableitet.

Eine mögliche Unterstützung kann ein Computerlernsystem darstellen, bei dem der Lernende in Beziehung zu seinem Mentor und den Patienten verhältnismäßig ungebunden und die Aneignung von Erfahrungen für den Patienten risikofrei ist. Ein fallbasiertes Lernsystem für die Leberchirurgie mit dem Schwerpunkt der Therapieentscheidung und Therapieplanung ist bisher nicht bekannt.

1.2 Ziele und Aufgabenschwerpunkte

Aufbauend auf den bei MEVIS entwickelten Bildanalysetechniken sowie der großen Erfahrung in der präoperativen Planung von leberchirurgischen Eingriffen soll in dieser Arbeit ein Prototyp für ein fallbasiertes Lernsystem der Leberchirurgie (LIVERSURGERYTRAINER) entwickelt werden. Somit können die bisherigen Ergebnisse und Erfahrungen der präoperativen Planung in die medizinische Ausbildung überführt werden. Für die Umsetzung lassen sich die nachfolgenden Ziele und deren Aufgabenschwerpunkte definieren.

1. Didaktische Aufbereitung der Falldaten.

Die erhobenen Falldaten, z.B. intraoperative Videoaufnahmen, liegen in einer Form vor, die für das Lernsystem nicht immer nutzbar sind. In einem ersten Schritt soll der Informationsraum technisch aufbereitet (z.B. digitalisiert) werden. Für die weitere Nutzung als Lerninhalte sollen die Daten systematisiert und unter didaktischen Gesichtspunkten aufbereitet werden.

2. Erprobung von Lernsystemkomponenten.

Die verwendeten Fälle müssen durch den Anwender ausgewählt werden. Dafür sind bestehende Konzepte einer Fallauswahl zu vergleichen und falls notwendig ein neues Konzept zu entwickeln und im LIVERSURGERYTRAINER zu integrieren.

Desweiteren soll das Lernen interaktiv gestaltet werden. Dazu sind didaktisch sinnvolle Strukturen zu finden und bestehende Konzepte weiterzuentwickeln.

3. Untersuchung von Visualisierungsaufgaben.

Bei der Visualisierung für die fallbasierte Chirurgieausbildung ergeben sich verschiedene Aufgaben. Sie sollen systematisiert und analysiert werden. In einem weiteren Schritt sollen die Ergebnisse in den LIVERSURGERYTRAINER integriert werden.

1.3 Ergebnisse

Als Ergebnis dieser Arbeit konnte der LIVERSURGERYTRAINER prototypisch realisiert werden. Dazu wurden klinische Daten von einer repräsentativen Anzahl an Fällen zusammengetragen, davon mehrere Fälle aufbereitet und in den LIVERSURGERYTRAINER integriert.

Die Arbeit konzentrierte sich hauptsächlich auf die Entwicklung von Interaktionselementen für die Präsentation und Exploration der Fälle. Es konnte ein neue graphische Fallauswahl, basierend auf dem Konzept der „Parallelen Koordinaten“ entwickelt werden, welche eine schnelle und zielgerichtete Auswahl zulässt.

Außerdem wurde ein Navigationsmenü konzipiert und realisiert, welches an die spezifische Struktur von medizinischen Fällen angepasst ist. Es ermöglicht durch die lineare Ausrichtung und die zusätzliche Verwendung von *Fisheye*-Techniken eine übersichtliche und leicht erfassbare Präsentation der Struktur und die vereinfachte und schnelle Handhabung eines Falles.

Weiterhin wurden Visualisierungsaufgaben untersucht, die mit der Umsetzung von Lernzielen im LIVERSURGERYTRAINER zusammenhängen. Dabei stehen die vertiefte Analyse von Hervorhebungstechniken und nicht-photorealistischen Darstellungen im Vordergrund. Die Ergebnisse wurden in die Fallpräsentation des LIVERSURGERYTRAINER integriert.

Zur Evaluierung der im LIVERSURGERYTRAINER verwendeten Visualisierungstechniken wurde ein Fragebogen erstellt und an die Zielgruppe des LIVERSURGERYTRAINER verschickt.

1.4 Aufbau

Die vorliegende Arbeit ist in die folgenden Abschnitte gegliedert.

Grundlagen (Kapitel 2 und 3)

Kapitel 2 behandelt die anatomischen und chirurgischen Grundlagen, die den ausgewählten und strukturierten Lerninhalt darstellen. In Kapitel 3 werden die didaktischen Grundlagen beschrieben und konkrete Anforderungen definiert.

Lernsysteme in der Medizin (Kapitel 4)

Kapitel 4 erarbeitet den aktuellen Forschungsstand und vergleicht bereits existierende Lernsysteme mit den in Kapitel 3 aufgestellten Anforderungen an ein fallbasiertes Lernsystem für die Leberchirurgie.

1 Einleitung

Entwurf und Realisierung (Kapitel 5 und 6)

Kapitel 5 und 6 stellen den Kern dieser Arbeit dar. Sie beschäftigen sich mit der Konzeption und der Umsetzung des Lernsystems. In Kapitel 5 wird zuerst das Konzept eines Lernsystems auf Grundlage der Anforderungen entworfen. Zusätzlich werden Lernsystemkomponenten entwickelt und Visualisierungsaufgaben vorgestellt. In Kapitel 6 wird ein Entwicklungswerkzeug zur Realisierung des LIVERSURGERYTRAINER ausgewählt und dessen Wahl begründet. Weiterhin wird auf Aspekte der Realisierung eingegangen und die verwendeten Methoden erläutert.

Evaluierung (Kapitel 7)

Kapitel 7 beschäftigt sich mit der Evaluierung der im Lernsystem verwendeten Visualisierungen. Dazu wurde ein Fragebogen erstellt und an Personen der Zielgruppe des Lernsystems versandt, um so die didaktische Güte der Visualisierung beurteilen zu können.

Zusammenfassung und Ausblick (Kapitel 8)

Am Ende der Arbeit werden die Ergebnisse zusammengefasst. Weiterhin wird in einem Ausblick auf mögliche Erweiterungen und offene Probleme eingegangen.

Anatomie und Chirurgie der Leber

Für die Konzeption eines Lernsystems ist es notwendig, sich mit dem Lerninhalt fachlich auseinanderzusetzen. Dies sollte in dem Maße geschehen, das es dem Entwickler möglich ist, sich mit dem klinischen Partner über inhaltliche Aspekte zu verständigen und Anforderungen an Didaktik, Struktur und Navigation abzuleiten.

In diesem Kapitel werden die chirurgische, funktionelle und abweichende Anatomie sowie relevante Tumorerkrankungen, Diagnostik und Therapiemöglichkeiten der Leber beschrieben. Sie bilden die inhaltliche Basis des Lernsystems und sind deshalb explizit zu berücksichtigen. Wichtige Ziele des Lernsystems sind die Therapieentscheidung und die Therapieplanung, welche in Abschnitt 2.4 und Abschnitt 2.5 ausführlich betrachtet werden.

2.1 Chirurgische und funktionelle Anatomie

Die Leber (*Hepar*) ist das größte innere Organ des menschlichen Organismus. Sie besteht aus einem spezifischen Drüsengewebe, dem Leberparenchym. Somit ist sie die größte exokrine Drüse und für die Produktion und Ausscheidung der Gallenflüssigkeit zuständig. Eine zweite zentrale Funktion ist der Stoffwechsel. Dabei ist die Leber hauptsächlich mit der permanenten chemischen Entgiftung des Blutes beauftragt. Sie übernimmt weiterhin vielfältige Aufgaben im Gesamtorganismus, ohne die die komplexen Abläufe im Körper nicht durchführbar wären.

Durch das enorme Blutvolumen, das in den Blutgefäßen der Leber transportiert wird, bildet sie außerdem ein dem Herzen vorgeschaltetes Blutdepot und ist deshalb bei chirurgischen Eingriffen besonders sorgfältig zu behandeln. Die Leber besitzt eine enorme regeneratorsche Potenz. Mit heutigen chirurgischen Methoden sind daher bis zu drei Viertel der gesunden Leber resezierbar. Nach wenigen Monaten hat sie sich weitgehend regeneriert.

Für das Verständnis dieser Arbeit wird im Folgenden der Bau der Leber grob vorgestellt. Weitere physiologische und detaillierte anatomische Aspekte der Leber findet sich in der Fachliteratur, zum Beispiel von [MOLL und MOLL, 2000] und [LIPPERT, 2003].

2.1.1 Lage und Gestalt der Leber

Die Leber liegt im Normalfall zu zwei Drittel im rechten und zu einem Drittel im linken Oberbauch direkt unterhalb des Zwerchfells. Sie ist von einem elastischen Bett umgeben, das durch die benachbarten Organe (siehe Tabelle 2.1) gebildet und durch die Körperhaltung und die Atmung ständig verändert wird. In diesem freien Raum liegt die weiche, leicht verformbare Leber (nur von einigen Bändern in ihrer Lage gehalten) und passt sich den umliegenden Veränderungen an. Somit variieren sowohl die Form als auch die Lage der Leber von Patient zu Patient oft beachtlich (siehe auch Abschnitt 2.1.4).

Eine allgemeingültige Angabe der Lebergröße ist schwer zu definieren, da sie von der Größe, dem Geschlecht und dem Gewicht des Patienten stark abhängig ist (vgl. [LOEWENECK et al., 2004]). Trotz der starken Variabilitäten ist die topographische Einordnung der Leber dennoch möglich, indem der Chirurg anatomische Strukturen als Orientierungssystem nutzt. So verwendet er das Skelett als „statisches“ Bezugssystem, wo die Leberparameter (Größe, Lage) mit Hilfe von knöchernen Fixpunkten beschrieben werden können. Eine zweite Möglichkeit ist die Angabe mittels „dynamischer“ Punkte, wie zum Beispiel auf den angrenzenden Organen. Beide Orientierungssysteme spielen bei der Therapieplanung eine wichtige Rolle.

Die Variationen der Leber in Lage, Größe und Form sind, wie beschrieben, stark von dem konkreten Patienten abhängig. Somit haben sie im klinischen Alltag eine große Relevanz. Für den Chirurgen ist es wesentlich, die patientenindividuelle Anatomie zu studieren und praxisrelevant zu üben.

Richtung	Benachbarte Strukturen
Zum Bauch hin (<i>ventral</i>)	Brustkorb, Rückseite der Bauchwand
Zum Rücken hin (<i>dorsal</i>)	Speiseröhre, Magen, rechte Niere und Nebenniere
Zum Kopf hin (<i>kranial</i>)	Zwerchfell, rechte Lunge, Herz
Zum Steiß hin (<i>kaudal</i>)	Gallenblase, Zwölffingerdarm, Darm

Tabelle 2.1: Nachbarschaftsverhältnisse der Leber, vgl. [HOFFMANN, 2000] und [SCHUMPELICK et al., 2004].

2.1.2 Äußere und innere Einteilung

Traditionell wird die Leber anhand von Einzelstrukturen auf der Leberoberfläche (Bändern und Furchen) in einen größeren rechten Lappen (*Lobus dexter*) und einen kleineren linken Lappen (*Lobus sinister*), sowie in zwei akzessorische Lappen (*Lobus caudatus*, *Lobus quadratus*) eingeteilt. Diese Lappendefinition basiert ausschließlich auf äußerlichen Merkmalen und dient der Beschreibung von Lagebeziehungen. Sie findet im Inneren des Organs keine entsprechende Fortführung.

Eine innere Hierarchie, die chirurgischen Gesichtspunkten besser gerecht wird, ist die funktionelle Einteilung anhand der Verzweigungsstruktur der größeren intrahepatischen Gefäßäste und

Gallengänge wie sie Abbildung 2.1 zeigt. Die Grenze zwischen linkem und rechtem funktionellen Lappen entspricht dem Verlauf der mittleren Lebervene. Somit kann eine Ebene zwischen Gallenblasenbett und linkem Rand der unteren Hohlvene (*Vena cava inferior*) definiert werden. Diese Grenze ist für die Entfernung der Lappen von großer Bedeutung.

Bei der weiteren Gliederung wird die Leber anhand der Gefäßhierarchie in vier Sektoren, mit jeweils zwei Segmenten geteilt. Die so erstmalig von [COUINAUD, 1957] definierten acht Segmente sind funktionell autonom, da sie jeweils eine eigene Blutversorgung und einen separaten Gallenabfluss haben und somit bei einer möglichen Resektion einzeln entfernt werden können. Eine leichte Modifizierung der Couinaud'schen Gliederung geht heute von neun Lebersegmenten aus. Dieses funktionelle Schema der Leber (siehe Abbildung 2.1) hat sich international weitgehend durchgesetzt und ist für die heutige Leberchirurgie insbesondere in Europa von großer praktischer Bedeutung.

Sie dient einerseits als Orientierungshilfe, als eine Art „intrahepatisches Koordinatensystem“, bei der Kommunikation mit den Radiologen. Andererseits lassen sich so zum Beispiel die Lage und Ausdehnung von Parenchymerkrankungen innerhalb der Leber räumlich beschreiben oder und somit der Operationsumfang durch den Chirurgen definieren und planen. Grundsätzlich ist das Schema aber relativ ungenau. Zusätzlich variieren patientenspezifisch die Lage, die Form und sogar die Anzahl der Lebersegmente.

Die Segmentgliederung ist dennoch ein wichtiges Instrument bei der Beschreibung und Orientierung und kann nur patientenindividuell angemessen eingesetzt werden. Die „Ungenauigkeit“ der funktionellen Gliederung kann bei der Beschreibung der intrahepatischen Strukturen durch die Berücksichtigung des Gallengang- und Gefäßverlaufes sinnvoll ergänzt werden. Somit stellt sie die zweite wesentliche Orientierungshilfe innerhalb der Leber dar.

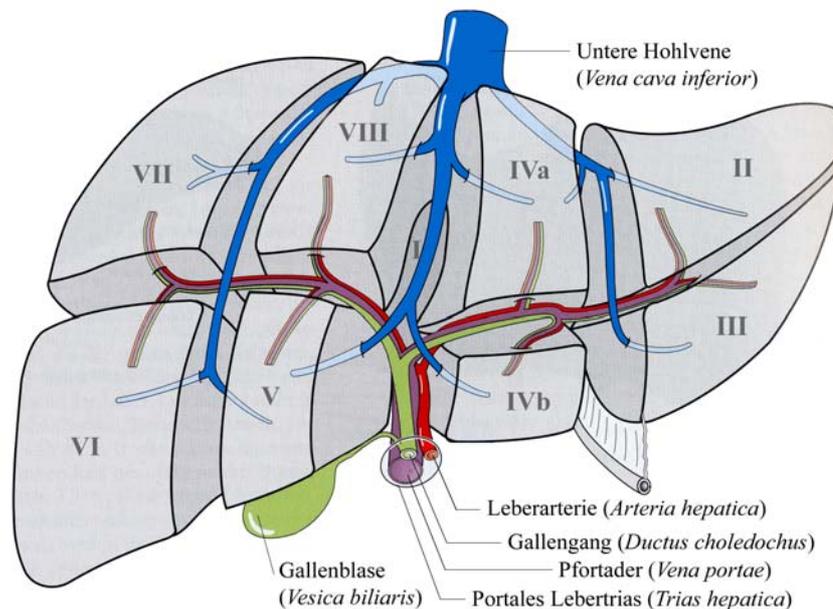


Abbildung 2.1: Schematische und idealisierte Darstellung der Segmentgliederung (ventrale Ansicht), entnommen aus [BENNINGHOFF und DRENCKHAHN, 2002].

2.1.3 Gefäßsysteme und Gallengänge

Eine Besonderheit der Leber ist ihre Versorgung durch zwei separate Gefäßsysteme. Einerseits fließt das gesamte venöse, nährstoffreiche Blut aus den Bauchorganen wie Magen, Darm, und Gallenblase durch die Pfortader (*Vena portae*) in die Leber, was zwei Drittel des hepatischen Blutflusses entspricht. Andererseits gelangt arterielles, sauerstoffreiches Blut über die Leberarterie (*Arteria hepatica*) in die Leber und stellt das restliche Drittel des Blutvolumens zur Verfügung (siehe Abbildung 2.2).

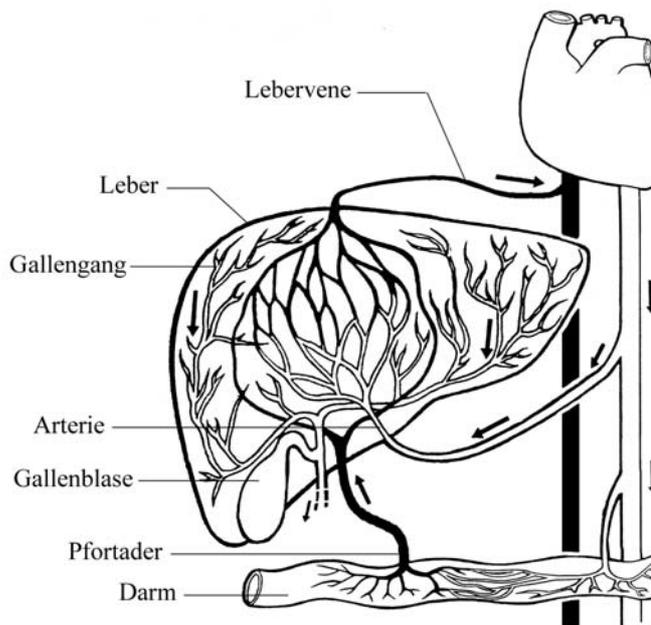


Abbildung 2.2: Intra- und extrahepatische Blut- und Gallenzirkulation, modifiziert nach [DIAGRAMGROUP, 1983].

Beide großen Blutgefäße treten durch die Leberpforte in die Leber ein und verbinden sich gemeinsam mit dem großen ableitenden Gallengang (*Ductus choledochus*) zum portalen Lebertrias (*Trias hepatica*). Intrahepatisch laufen die Äste von Arterie, Pfortader und Gallengang topographisch eng aneinander (siehe Abbildung 2.3(a)); die Pfortader ist dabei durchflusstärkstes und funktionell wichtigstes Gefäß [LIPPERT, 2003].

Die Äste verzweigen sich weiter in Segment- und Subsegmentgefäße bis hin zu mikroskopisch kleinen Kapillaren. Dort wird das Blut gefiltert und angereichert und fließt über Sammel-, Segment- und Lappenvenen, zu den drei Hauptlebervenen. Von dort, unmittelbar unterhalb des Zwerchfells, gelangt das Blut in die untere Hohlvene (*Vena cava inferior*) (siehe Abbildung 2.3(b)).

Die Gefäße der Pfortader verlaufen überwiegend an den Segmentgrenzen und stellen demnach wichtige Grenzmarken für den Chirurgen dar. Die Gefäße allgemein dienen dem Chirurgen also sowohl zur Einteilung der Leber in autonome Gebiete als auch zur Beschreibung der topographischen Lage zwischen Gefäß und Erkrankung. Die patientenindividuellen Gefäß-Tumor-Konstellationen erfordern wiederum unterschiedliche Therapiestrategien.

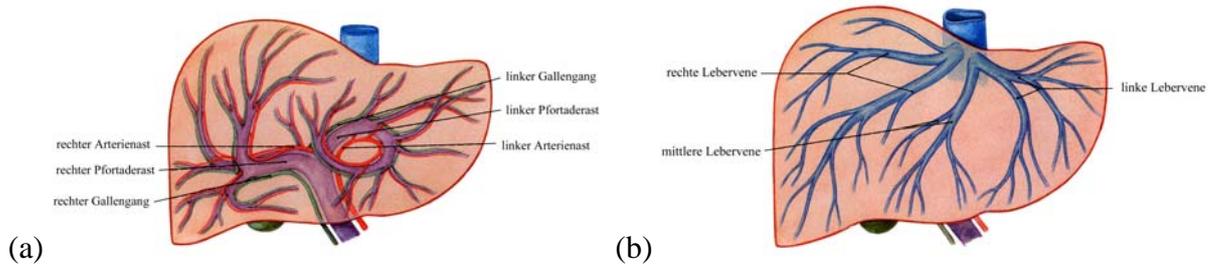


Abbildung 2.3: Intrahepatische Blutgefäße und Gallengänge projiziert auf die Oberfläche der Leber, entnommen aus [SCHUMPELICK et al., 2004]. (a) Lebertrias bestehend aus Pfortader, Arterie und Gallengang, (b) Lebervene mit ihren drei Hauptästen.

2.1.4 Wichtige anatomische Variationen

Insbesondere bei der Therapieplanung und dem chirurgischen Eingriff sind die patientenspezifischen, anatomischen Lagebeziehungen entscheidend. Dabei spielen natürliche Varianten der Leber und ihrer inneren Strukturen (siehe Abbildungen 2.4 und 2.5) eine entscheidende Rolle. Ebenso sind Variationen, die aufgrund der Erkrankung entstanden sind, für diese Gebiete relevant. Unter Umständen findet der Chirurg bei jedem Eingriff eine differierende Leberanatomie vor.

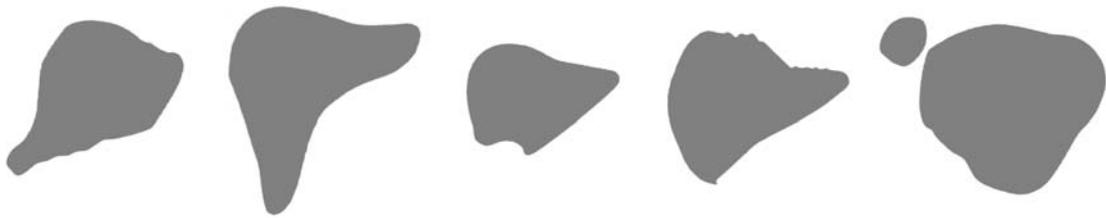


Abbildung 2.4: Formvariationen normaler Lebern in der Röntgenprojektion, entnommen aus [KÖCKERLING und WACLAWICZEK, 1999].

Vielfältige anatomische Variationen, die sowohl in der klinischen Praxis als auch im Lernsystem berücksichtigt werden müssen, treten auf bei

- Form, Größe und Masseverteilung der Leber,
- Lage, Ausdehnung und Volumen der einzelnen Segmente,
- Gefäßen (Verzweigung, Mündungsverhalten, intrahepatischer Verlauf u.ä.) und
- Gallengängen (intrahepatischer Verlauf, Verlagerung durch pathologische Prozesse u.ä.).

Abbildung 2.5 zeigt verschiedene natürliche Varianten der intrahepatischen Gefäße (Varianten aufgrund pathologischer Veränderungen sind hier nicht berücksichtigt), auf die der Chirurg während der Operation treffen kann. Demzufolge ist dieser Umstand in die Ausbildung mit einzubeziehen. Es genügt hier nicht, eine „Standardleber“ zu verwenden.

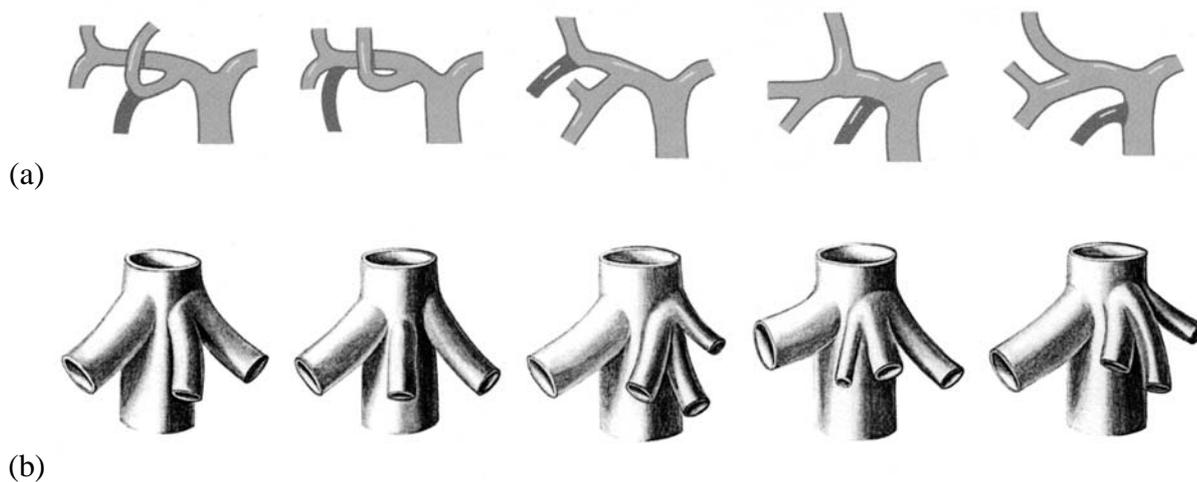


Abbildung 2.5: Anatomische Variationen verschiedener Gefäße. Die erste Variation ist jeweils der Regelfall. (a) Mündungsverhalten der Segmentgallengänge, entnommen aus [KÖCKERLING und WACLAWICZEK, 1999], (b) Mündungsverhalten der oberen Lebervenen, entnommen aus [LOEWENECK et al., 2004].

2.2 Tumorerkrankungen der Leber

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Tumorerkrankungen der Leber genannt und kurz vorgestellt. Tumorerkrankungen sind für die Ausbildung in der Leberchirurgie von großer Relevanz, da sie die Mehrzahl der klinischen Fälle darstellen und es aufgrund der vielen Möglichkeiten bei der Anatomie und Chirurgie ein großer Lernbedarf vorhanden ist. Die in den folgenden Abschnitten 2.2.1 und 2.2.2 näher beschriebenen Tumortypen stellen die klinisch relevanten Arten dar.

Es ist für das bessere Verständnis notwendig, einige in der Onkologie gebräuchlichen Klassifizierungen zu erwähnen. Allgemein werden Tumorerkrankungen in gutartige (*benigne*) und bösartige (*maligne*) Veränderungen eingeteilt. Tumore werden maligne genannt, wenn sie durch ihr Wachstum das umliegende Gewebe massiv zerstören oder eigene entartete Zellen in andere Organe absiedeln. Letztere Eigenschaft führt zu einer weiteren Unterscheidung. Das erste Vorkommen eines Tumors wird als primäres Auftreten, der Satellit als *Sekundärtumor* bzw. *Metastase* bezeichnet. Dahingegen werden alle „nicht-malignen“ Tumoren als benigne Raumforderungen beschrieben.

2.2.1 Benigne Tumoren

Benigne Raumforderungen der Leber sind in den meisten Fällen ohne Symptome und werden oft im Rahmen einer Routineuntersuchung mit Hilfe der Sonographie entdeckt. Zu den gutartigen Tumoren gehören das *Hämangiom*, die *fokale noduläre Hyperplasie* und das *Leberzelladenom*.

Der Blutschwamm (*Hämangiom*) ist ein gutartiger Gefäßtumor, der durch intrahepatische Fehlbildung der Gefäße entsteht. Es ist die häufigste benigne Raumforderung der Leber. Die Erscheinung des Hämangioms von dem gesunden Parenchym gut zu unterscheiden. Das Hämangiom ist in der Regel ungefährlich; trotzdem kann es bei großvolumigen Raumforderungen zu Beschwerden kommen, die operativ beseitigt werden sollten.

Charakteristisch für die *fokale noduläre Hyperplasie (FNH)* ist ihre Zusammensetzung aus Leberzellen und Gallengängen zu einer knotigen Struktur mit zentraler Narbe. Sie gleicht makroskopisch eher einer Zirrhose. In der Regel hat die FNH eine braune Färbung, eine höckerige Oberfläche und ist kapsellos.

Das *Leberzelladenom* ist ein gutartiger Tumor. Es neigt oft zu einer malignen Entartung und besitzt außerdem ein hohes Rupturrisiko, womit es vermehrt zu Einblutungen in den Tumor oder die Bauchhöhle kommen kann. Der Tumor hat eine gelbbraune Färbung mit glatter Oberfläche und eine dünne bindegewebige Kapsel.

2.2.2 Maligne Tumoren

Lebermalignome sind meist lange Zeit symptomlos; Druckgefühl oder Oberbauchschmerzen sind Spätsymptome. Zu den drei wichtigsten Vertretern der primären malignen Tumoren gehören das *hepatozelluläre Karzinom*, das *cholangiozelluläre Karzinom* (Karzinom der Gallengänge) und das *Hepatoblastom*. Sekundäre maligne Tumoren werden deutlich häufiger als primäre Malignome (95% aller malignen Lebertumoren) diagnostiziert [SEEBER und SCHÜTTE, 2003].

Das *hepatozelluläre Karzinom (HCC)* ist der am häufigsten auftretende maligne Tumor weltweit, in Europa dennoch eher selten. Der Hauptrisikofaktor für das HCC ist die Leberzirrhose. Aufgrund eines fortgeschrittenen Tumorstadiums und der gleichzeitigen Erkrankung durch die Leberzirrhose hat das HCC eine geringe Resektabilitätsrate. Das Erscheinungsbild ist von der Größe des Tumors und einer vorhandenen Zirrhose abhängig. In der gesunden Leber ist der Tumor kompakt und ungekapselt. In der zirrhotischen Leber ist das Aussehen knotig und es umschließt ihn eine Pseudokapsel.

Ein eher seltener, von den intrahepatischen Gallengängen ausgehender maligner Tumor ist das *Cholangiozelluläre Karzinom (CCC)*. Es entsteht überwiegend in der intakten Leber und lagert sich häufig in der Nähe des intrahepatischen Leberhilus (Eintritt der Pfortader in die Leber) an. Die Erscheinung des Tumors ist abhängig von der Lage im Gallenwegssystem. In der Mehrheit der Fälle ist er weiß, mit derber Konsistenz und durch die Ausbreitung im Parenchym unscharf begrenzt.

Der häufigste bösartige Lebertumor im frühen Kindesalter ist das *Hepatoblastom*. Das Hepatoblastom ist knorplig-knöchern, gut abgegrenzt und im Schnittbild inhomogen durch abgestorbenes Gewebe und Einblutungen.

Sekundäre maligne Tumoren (Metastasen) haben ihren Ursprung überwiegend im Zustromgebiet der Pfortader wie Magen, Darm oder Galle (siehe Abbildung 2.2). Bei fortgeschrittener Metastasierung weisen auch andere Malignome, die beispielsweise in der Lunge oder Brust lokalisiert sind, Lebermetastasen auf. Häufigster Metastasentyp ist die kolorektale Metastase, die 40-70% der Patienten (vgl. [LIPPERT, 1998]) mit einem Kolonkarzinom aufweisen. Während

Lebermetastasen anderer Tumoren (Fernmetastasen) oft als nicht therapierbar eingestuft werden, können Metastasen des Kolonkarzinoms, wenn eine Resektion möglich ist, mit großem Erfolg (vgl. SCHNIDER und METZGER [2002]) behandelt werden.

2.3 Diagnostische Verfahren zur Beurteilung von Leberparenchymerkrankungen

Die Diagnostik ist ein Prozedere von Untersuchungsmethoden, um den Allgemeinzustand des Patienten beurteilen zu können, seine Erkrankung zu erkennen und mögliche Krankheitsbilder auszuschließen. Die häufigsten diagnostischen Methoden in ihrer gebräuchlichen Reihenfolge sind

- die Anamnese,
- die klinische Untersuchung des Patienten,
- die Labordiagnostik und
- die radiologische Bildgebung [PICHLMAYR und LÖHLEIN, 2004].

2.3.1 Untersuchungen

Die intensive Patientenbefragung dient der *Anamnese*. Der Arzt erfährt Informationen über die Krankengeschichte und Persönlichkeit des Patienten. Bei der Diagnose von Lebertumoren gibt die Anamnese nur uncharakteristische Hinweise wie Oberbauchbeschwerden oder ein abdominelles Druckgefühl.

Die *klinische Untersuchung* als nachfolgender Schritt wird meist ohne größere technische Hilfsmittel durchgeführt und unterstützt die Inspektion des Patienten. Dabei wird oft der Oberbauch beklopft und abgetastet, um die Lage und Ausdehnung der Leber orientierend zu bestimmen oder Konsistenz und Ebenheit der Leberoberfläche einzuschätzen.

Nach der körperlichen Untersuchung folgt die *Labordiagnostik*. Sie dient der Leberfunktionsanalyse. Dabei werden Blutwerte, Gerinnungsstatus, Gallenfarbstoffe oder Leberenzyme untersucht. Weiterhin wird der Patient bei Verdacht einer malignen Tumorerkrankung auf spezifische Tumormarker untersucht. Die Ergebnisse und Werte werden in der Patientenakte notiert.

Die eben beschriebenen Diagnoseschritte werden im Lernsystem hauptsächlich ohne Interaktion des Lernenden präsentiert und spielen daher bei der Erstellung des Lernsystems eine untergeordnete Rolle. Wesentlicher für die Diagnostik von Lebertumoren sowohl im klinischen Alltag als auch im Lernsystem sind die bildgebenden Verfahren, da sie wichtige Erkenntnisse liefern und dadurch die Grundlage für Therapieplanung und Therapieentscheidung darstellen.

2.3.2 Präoperative bildgebende Verfahren

Abbildung 2.6 macht die Abfolge der einzelnen bildgebenden Verfahren innerhalb der hepatischen Diagnostik deutlich. Demnach erfolgt die Primärdiagnostik fokaler Lebererkrankungen zumeist sonographisch. Mit ihrer Hilfe ist in einigen Fällen schon eine Artdiagnose möglich. Im Rahmen der weiterführenden Diagnostik kommen heute bei Unsicherheit oder exakter Artdiagnose das Spiral-CT und die Magnetresonanztomographie (MRT) zum Einsatz. Weitere bildgebende Methoden wie konventionelle Röntgenaufnahme, Angiographie oder Szintigraphie haben eine geringe Bedeutung und werden hauptsächlich bei speziellen Fragestellungen eingesetzt. Die allgemeinen Ziele der präoperativen bildgebenden Verfahren sind (vgl. [LIPPERT, 1998]):

- Das Vorhandensein und die mögliche Ausdehnung des pathologischen Prozesses klären.
- Eine Artdiagnostik unter den Aspekten Therapiebedürftigkeit und -chancen erarbeiten.
- Die Lokalisation der Erkrankung innerhalb der hepatischen Gefäßarchitektur feststellen.
- Die Festlegung einer konkreten therapeutischen Strategie treffen.

Die Ergebnisse der bildgebenden Diagnostik sind bei der späteren Therapieplanung unentbehrlich (siehe Abschnitt 2.5).

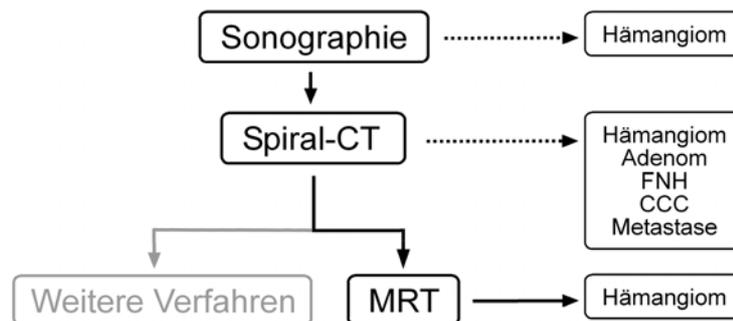


Abbildung 2.6: Artdiagnose anhand der bildgebenden Verfahren.

Die *Sonographie* ist die am häufigsten eingesetzte Methode und wird insbesondere für die Größenbestimmung und zum Nachweis diffuser Strukturveränderungen des Parenchyms oder gestauter intrahepatischer Gallenwege eingesetzt. Die erweiterte farbkodierte Duplexsonographie ist zusätzlich sinnvoll, um Leberdurchblutungen oder die intrahepatische Lagebeziehung der Gefäße anzuzeigen. Eine besondere Bedeutung kommt der Sonographie als intraoperative Visualisierung zu (siehe Abschnitt 2.4.1).

Im Gegensatz zur Sonographie dient die *Computertomographie (CT)*, sowohl der Sicherung und artdiagnostischen Zuordnung der erhobenen Befunde als auch der genaueren Bestimmung des Ausmaßes und der Lage von Parenchymveränderungen der Leber (siehe 2.7(a)). Weiterhin wird sie zur Klärung von Diskrepanzen zwischen klinischen, laborchemischen und Ultraschallbefunden herangezogen. Die Computertomographie ist durch die Verwendung von Kontrastmittel in der Lage, die Gefäße in der Leber hoch differenziert darzustellen. Dazu werden die einzelnen

2 Anatomie und Chirurgie der Leber

Gefäßsysteme oft in mehreren Phasen aufgenommen. Durch die Kontrastmittelgabe, die grundsätzlich bei der Tumordiagnostik durchgeführt wird, ist eine spätere Bildanalyse und eine darauf aufbauende Therapieplanung möglich. Durch wenig Inhomogenitäten und die Verwendung von *Hounsfield*-Werten ist die Computertomographie in vielen Bereichen standardisiert.

Die *Magnetresonanztomographie (MRT)* vereinigt die Vorzüge der multiplanaren Darstellung und des hohen Weichteilkontrastes (siehe Abbildung 2.7(b)). Sie besitzt eine hohe Aussagefähigkeit bei der Differenzierung fokaler Leberveränderungen wie beispielsweise dem Hämangiom. Dennoch ist die Magnetresonanztomographie durch ihre teure Anschaffung und Wartung nur eingeschränkt verfügbar. Desweiteren erschweren eine meist geringe Auflösung und zahlreiche Inhomogenitäten die Befundung.

Durch die gute Standardisierung und weite Verbreitung der Computertomographie einerseits und der deutlichen Inhomogenitäten der Magnetresonanztomographie andererseits wird die Computertomographie als bildgebendes Verfahren für das zu entwickelnden Lernsystem bevorzugt.

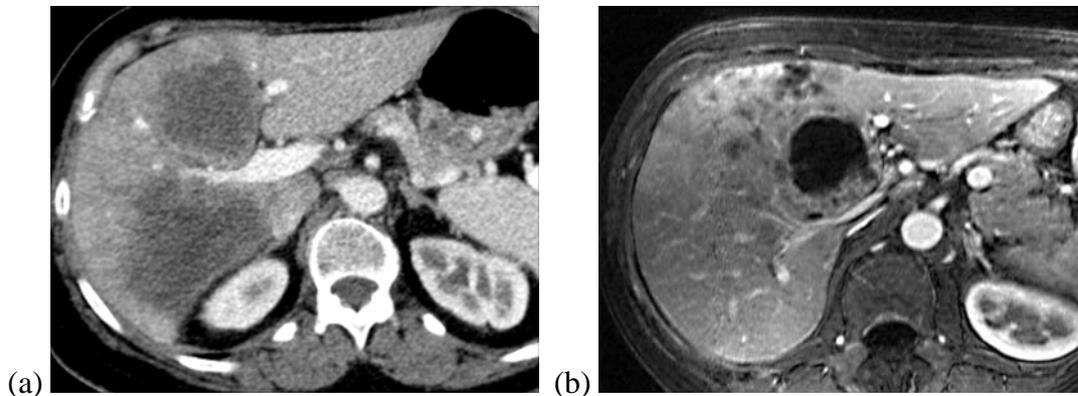


Abbildung 2.7: Wichtige präoperative bildgebende Verfahren. (a) Typische CT-Schicht als Grundlage der Therapieplanung in der Leberchirurgie. Durch die Kontrastmittelgabe sind die Gefäße gut zu erkennen. Die zwei dunklen Bereiche stellen Lebermetastasen dar. (b) Typische MRT-Aufnahme mit hoher Aussagefähigkeit bei der Differenzierung von Leberparenchym. Der dunkle kreisförmige Bereich kennzeichnet eine FNH.

Durch die Ergebnisse der diagnostischen Untersuchungen muss der Arzt in der Lage sein, eine konkrete Diagnose treffen zu können. Die Entscheidungsfindung ist aber oft derart komplex, dass ein umfassender Algorithmus unmöglich erscheint (vgl. [OTTO et al., 1997]). Trotzdem gibt es einige Lernsysteme, die die Diagnostikerstellung zu simulieren versuchen (z.B. [FISCHER et al., 1996]).

Da die Diagnose von dem beauftragten Radiologen erstellt und der Leberchirurg oft mit dem (fertigen) Ergebnis konfrontiert wird, ist es nicht notwendig, die komplette Diagnoseerstellung in einem Lernsystem für die Leberchirurgie zu trainieren (für medizinische Lernsysteme mit anderer Zielgruppe oder Fachrichtung kann es relevant sein). Die Aufgabe des Chirurgen ist es eher, die geeignete Therapieform auf Basis dieser Diagnose und der gegebenen anatomischen Verhältnisse festzulegen.

2.4 Therapieformen

In den vorigen Abschnitten werden sowohl die chirurgische Leberanatomie mit deren möglichen Variationen und Erkrankungen vorgestellt als auch die Vorgehensweise bei der Diagnostik beschrieben. Zusammen bilden sie die Grundlage für die therapeutischen Möglichkeiten, die in diesem Abschnitt behandelt werden. Mögliche Therapieformen bei der Behandlung von Lebertumoren sind *Resektion*, *Transplantation* und *lokal ablativ Verfahren* sowie weitere Verfahren, wobei sich die Resektion als die wichtigste Therapieform darstellt. Entsprechend wird sie im Folgenden ausführlicher beschrieben.

2.4.1 Resektion

Aufgabe der Leberresektion ist es, den krankhaften Teil (Primärtumor oder Metastase) komplett aus dem gesunden Parenchym zu entfernen. Sie ist neben dem Organersatz (Transplantation, siehe Abschnitt 2.4.2) bisher die einzige potentiell heilende Methode. Ihre heutige Bedeutung verdankt sie hauptsächlich der Anwendung des „Pringle-Manövers“, ein temporäres Abklemmen der Hilusgefäße (siehe Abbildung 2.8), welches den intraoperativen Blutverlust verringert. Die Leberresektion gliedert sich in vordefinierte Schritte, die im Regelfall linear „abgearbeitet“ werden. Trotzdem kann es während der Operation notwendig sein, Schritte in ihrer Abfolge zu vertauschen, auszulassen oder neue Schritte hinzu zunehmen. Folgende Aspekte sind immer vor der Resektionsentscheidung abzuklären:

1. die Anzahl, Größe, Ausdehnung und Lage der Tumoren,
2. die Infiltration der Hauptverzweigungen von Pfortader und Leberarterie,
3. die intrahepatische Metastasierung und
4. die Beurteilung der Leberfunktionsreserve.

Die Mehrzahl der Aspekte wird bereits im Rahmen der Diagnostik geklärt. Einige Aspekte (wie Punkt 2) können oft erst während der Therapieplanung konkret bearbeitet oder entschieden werden (siehe Abschnitt 2.5). Teilweise erweist sich die präoperative Beurteilung intraoperativ als falsch (z.B. zusätzliche Metastasen).

Abbildung 2.9 zeigt, wie verschieden die Möglichkeiten der Resektion sein können. Grundsätzlich werden zwei Vorgehensweisen der Resektion (*segmentorientierte Resektion*, *atypische Resektion*) unterschieden. Bei den segmentorientierten Resektionsverfahren richtet sich der Chirurg nach der inneren Gliederung und respektiert somit den anatomischen Aufbau der Leber. Dadurch können Teile der Leber entnommen werden, ohne dass das Restparenchym in seiner Funktion beeinträchtigt wird.

Die atypische Resektion basiert nicht auf der Segmenteinteilung der Leber und eignet sich vorrangig für kleinere Tumoren und Metastasen in peripherer Lage. Das entfernte Lebervolumen ist nur vage abschätzbar, da die Resektion nicht nach allgemeinen Orientierungspunkten durchgeführt wird.

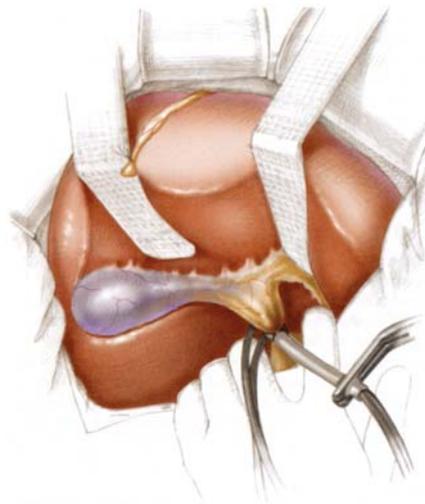


Abbildung 2.8: Temporäres Abklemmen der Hilusgefäße (Pringle-Manöver), entnommen aus [KÖCKERLING und WACLAWICZEK, 1999].

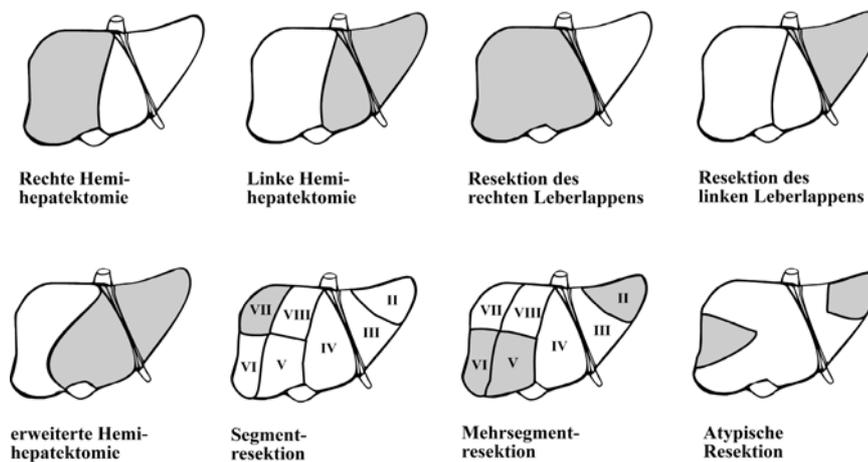


Abbildung 2.9: Möglichkeiten der Leberresektion, differenziert nach Lage und Ausmaß. In Anlehnung an [PRIESCHING, 1986].

Grundsätzlich wird für alle Lebertumoren eine Resektion angestrebt. Ausnahmen sind das Hämangiom und die FNH, die erst bei Beschwerden, beträchtlicher Größenzunahme oder unklarer Diagnose reseziert werden. Die nachstehenden Anforderungen werden an eine Resektion gestellt:

- Der Tumor muss mit ausreichend Sicherheitsrand entfernt werden.
- Das Restparenchym darf ein minimales Volumen nicht unterschreiten.
- Das verbleibende Lebergewebe muss gesund und funktionstüchtig sein (intakte Gefäße).

Die oben aufgeführten Punkte sind nur mit einer adäquaten Therapieplanung durchführbar (siehe Abschnitt 2.5). Die Planung einer entsprechenden Therapie (wie beispielsweise der Resek-

tion) sollte in dem zu entwickelnden Lernsystem anhand der Anforderungen umgesetzt werden können.

Ob eine Resektion durchgeführt werden kann, hängt in erster Linie von der *Operabilität* des Patienten und der *Resektabilität* der Erkrankung ab. In vielen Situationen ist der Patient operabel, d.h. sein Allgemeinzustand und die Funktion seiner Leber würden einen Eingriff zulassen. Trotzdem muss die Resektabilität (z.B. durch einen zu großen Tumor) nicht gegeben sein. Umgekehrt kann es auch vorkommen, dass der Tumor zwar ohne Probleme reseziert werden könnte, der Zustand der Leber, zum Beispiel durch eine ausgedehnte Leberzirrhose, das aber nicht zulässt.

2.4.2 Weitere Verfahren

Ist eine Resektion bei einem Adenom oder den malignen Tumoren nicht möglich wird eine Chemotherapie zur Volumenreduktion favorisiert. Bei nicht resektablen Tumoren (z.B. bei multiplen und bilobulären Läsionen) oder bei einem fortgeschrittenen Zirrhosestadium wird die Lebertransplantation als kurative Option gesehen. Die Ergebnisse sind aber eher unbefriedigend.

In den letzten Jahren sind zur klassischen Leberchirurgie einige Alternativen, die unter dem Sammelbegriff „lokal ablativ Verfahren“ geführt werden, hinzugekommen. Diese Techniken haben zum Ziel, dem Patienten einen minimalen Aufwand und eine geringstmögliche Belastung zuzumuten. Die Anwendung findet hauptsächlich bei Metastasen statt.

Die genaue und fundierte Therapieplanung bei einer Tumorablation ist vergleichbar mit dem Aufwand einer Resektionsplanung. Bei der Ablation wird die komplette Zerstörung des Tumors mit Sicherheitsrand angestrebt. Daher muss vorher wie bei der Resektion zum Beispiel die Lage und Infiltration der Gefäße abgeklärt werden. Zusätzlich wird bei den meisten Ablationsverfahren eine Zugangsplanung durchgeführt. Die wichtigsten Vertreter der ablativen Verfahren sind nachfolgend kurz erläutert und in Abbildung 2.10 zusammengefasst.

- Bei der *Radiofrequenz-Ablation (RF)* wird der Tumor durch Hitze zerstört. Die Sonde erzeugt Hitze, die in den Tumor eingebracht wird.
- Bei der *Laserinduzierte Ablation (LITT)* wird Laserlicht durch Glasfasern direkt zum Tumor geführt. Die thermische Energie, die dabei entsteht, zerstört den Tumor.
- Die Anwendung der *perkutanen Alkoholinjektion (PEI)* führt zu einer Verödung der Tumorgefäße. Dazu wird Ethanol (Alkohol) in den Tumor injiziert.
- Weitere Verfahren stellen die *Ablation durch Ultraschall* oder *Mikrowellen* (Zerstörung des Tumors durch Hitze) sowie die *Kryoablation* (Zerstörung des Tumors durch Kälte) dar.

Aufgrund ihrer momentan nur geringen Verbreitung an wenigen Therapiezentren wird auf die lokal ablativen Verfahren nicht näher eingegangen. Durch die zahlreichen Gemeinsamkeiten der Therapieplanung von lokal ablativen Verfahren und der Resektion können trotzdem Teile der Ergebnisse dieser Arbeit übertragen werden.

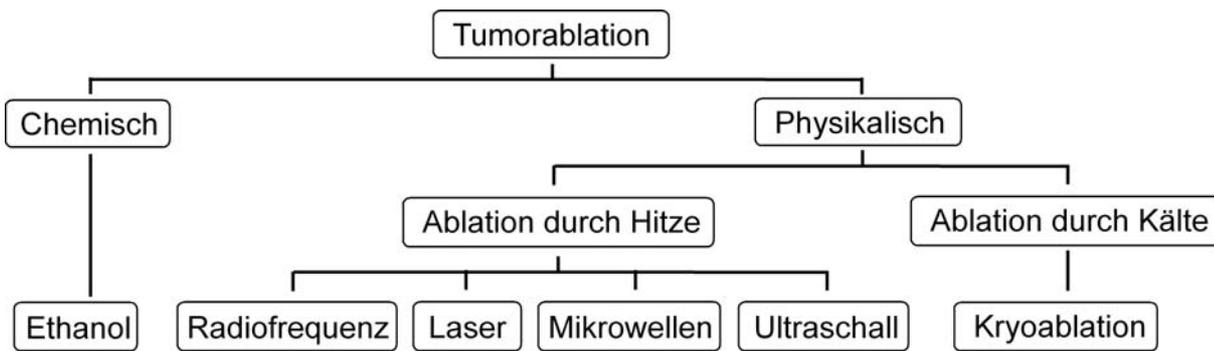


Abbildung 2.10: Methoden der Tumorablation bei einem Hepatozellulären Karzinom (HCC) oder einer Metastase. In Anlehnung an [DIETRICH et al., 2003].

2.4.3 Entscheidung der Therapiestrategie

Die Entscheidung der Therapiestrategie setzt spezielle Kenntnisse voraus und ist prinzipiell immer für den einzelnen Patienten individuell. Die sowohl von Patient zu Patient stark variierenden Lagebeziehungen und Tumorerkrankungen als auch der unterschiedliche Allgemeinzustand des Patienten machen die Therapie-Entscheidung extrem schwierig. Deshalb wird die Operationsstrategie im Detail nicht selten erst während der Operation festgelegt.

Ist die Therapiestrategie entschieden, geht es im Weiteren um die Frage: Kann die Strategie durchgeführt werden und wie ist der Eingriff optimal zu gestalten? Eine wichtige Hilfe zur Vorbereitung stellt die Therapieplanung dar, die dem Chirurg die Möglichkeit gibt, sowohl die konkreten Anforderungen als auch die Therapiedurchführung zu prüfen.

2.5 Therapieplanung

Die Therapieplanung ist eine sehr komplexe Abhandlung. Sowohl aus der anatomischen Vielfalt und Variabilität der intrahepatischen Strukturen als auch aus den Veränderungen durch pathologische Prozesse ergeben sich zahlreiche Optionen.

Zusätzlich ist die Regenerationsfähigkeit der Leber dafür verantwortlich, dass es viele Möglichkeiten und Kombinationen der Therapie (speziell der Resektion) gibt. Bei multiplen Metastasen in stützenden Strukturen (wie dem Brustkorb) ist die Therapiemöglichkeit weit eingeschränkt. Oft ist es unmöglich, einen Teil des Knochens zu entfernen; es wird meist der komplette Knochen reseziert oder ausschließlich eine Schmerzlinderung durchgeführt. Bei multiplen Metastasen der Leber gibt es dahingegen allein schon zahlreiche Resektionsvarianten.

2.5.1 Probleme der konventionellen Therapieplanung

Für eine Vielzahl von Fragestellungen in der Therapieplanung (siehe Tabelle 2.2) hat die bildgebende Diagnostik eine wesentliche Bedeutung. Die Entscheidung über das weitere Vorgehen,

hängt in der Regel von dem Ergebnis der Bildgebung ab, da auf dessen Grundlage die Planung und Beurteilung der Therapie ermöglicht wird.

Leberstruktur	Fragestellung
Leberparenchym	Topographie der Segmente Umbauvorgänge des Parenchyms Volumetrische Daten Topographische Zuordnung von Leberläsionen
Arteriell System	Verlauf und Variationen Gefäßinfiltration
Hepatoportales System	Variationen Portale Hypertension Pfortaderthrombose
Gallensystem	Normale Topographie Pathologische Veränderungen

Tabelle 2.2: Fragestellungen der präoperativen Diagnostik und Planung, vgl. [KÖCKERLING und WACLAWICZEK, 1999].

Dennoch können nicht alle Fragestellungen durch die präoperative Bilddiagnostik so schnell, so sicher, so detailliert und so exakt wie gewünscht, beantwortet werden. Der Chirurg ist bei jedem Patienten mit veränderten Abständen und Lagebeziehungen der intrahepatischen Strukturen konfrontiert und muss sich in den Fall räumlich „hineindenken“. Insbesondere die Lageverhältnisse in Tumornähe sind für die Resektabilität oder das Ausmaß einer Resektion relevant. Da bei malignen Tumoren und dem Leberzelladenom bei einer Resektion zusätzlich noch ein Sicherheitsabstand (mindestens 10 mm) einzuhalten ist (um auch kleine Satellitentumoren zu entfernen), wird die „räumliche“ Lage zusätzlich komplex.

Deshalb ist eine gründliche und präzise Planung für die erfolgreiche Durchführung unbedingt notwendig. Ist der Tumor zum Beispiel einem intrahepatischen Hauptgefäß sehr nahe, muss eine millimetergenaue Planung vorgenommen werden, die dann sogar darüber entscheidet, ob überhaupt reseziert werden kann. Wird das Volumen einerseits zu knapp bemessen, verbleibt möglicherweise Tumorgewebe in der Leber und kann sich durch die intrahepatischen Gefäße wieder ausbreiten. Wird andererseits zu großzügig reseziert, kann es zu einem postoperativen Leberversagen kommen. Unterstützende Lösungen für den Chirurgen bietet die patientenindividuelle Planung mit 3D-Rekonstruktionen, auf die im nächsten Abschnitt näher eingegangen wird.

2.5.2 Einsatz der computergestützten Planung

Sowohl die Sonographie als auch das Spiral-CT und MRT sind durch das schnelle Ändern des Schallkopfes bzw. der Schichtebene in der Lage, dem Chirurgen einen „pseudo-dreidimensionalen“ Eindruck der Leberstrukturen zu vermitteln. Trotz der guten Ergebnisse

dieser bildgebenden Verfahren und der langjährigen Erfahrung im Umgang mit dem entsprechenden Medium, fällt es dem Chirurgen bei der konventionellen Therapieplanung oft schwer, die räumlichen Zusammenhänge der variablen Leberstrukturen richtig zu interpretieren. Bei der Einschätzung der entsprechenden CT-Bilder auf konventionelle Weise (z.B. mit Hilfe eines Leuchtpultes) kann es zum Beispiel vorkommen, dass der Gallenblasenkopf fälschlich als eine weitere Metastase interpretiert wird. Es ist jedoch durchaus möglich, dass die Gallenblase von unten weit in die Leber hineinragt.

Eine große Unterstützung kann die computerunterstützte und 3D-basierte Planung leisten. Sie kann der Erarbeitung eines konkreten „mentalen“ Modelles (plastisch-dreidimensionale Vorstellung), die der Chirurg während der Operation aus seinem Gedächtnis abrufen, dienen. Anhand dieses Modelles ist es ihm dann möglich, sich während des Eingriffs zu orientieren. Wichtige Fragestellungen, die in vielen Fällen bereits mit dem 3D-Planungssoftware beantwortet werden können, sind:

- Welche Gefäße sind durch den Tumor infiltriert? Sind dies funktionell wichtige Gefäße?
- Welche Gefäße sind bei einem ausreichenden Sicherheitsrand bereits infiltriert?
- Welche Segmente sind von der Tumorsektion inklusive Sicherheitsrand betroffen?
- Ist das verbleibende Leberparenchym für die weitere Funktion ausreichend?

Es gibt bereits einige Systeme, die vorverarbeitete 3D-Darstellungen für die präoperative Planung (z.B. [PREIM et al., 2003], [BOURQUAIN et al., 2002], [GLOMBITZA et al., 1999], [SOLER et al., 2001]) anbieten können und die von den klinischen Partnern genutzt werden (siehe Abbildung 2.11).

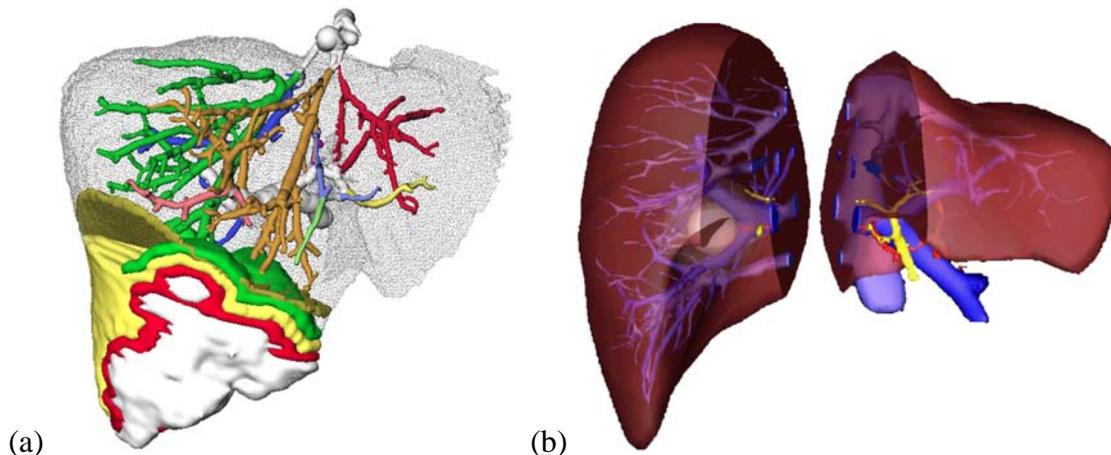


Abbildung 2.11: Vorverarbeitete 3D-Darstellungen für die präoperative Planung. (a) Virtuelle Resektionsebene und Einblendung von verschiedenen Sicherheitsrändern, Screenshot aus dem InterventionPlanner [PREIM et al., 2003], (b) Virtuelle Resektion einer Leber, modifiziert nach [SOLER et al., 2001].

Gerade die Therapieentscheidung bei schwierigen Fällen (Infiltrierung von Lebervenen oder portalem Hilus, extrahepatischer Befall, große Tumoren mit Lappenüberschreitung) hängt von

der Erfahrung des Chirurgen und dem Risiko einer Operation ab (vgl. [PRIESCHING, 1986]). Das Risiko kann oft durch eine exakte Planung abgeschätzt werden. Die Erfahrung des Chirurgen ist aber nur durch die Bearbeitung realer Fälle oder das möglichst authentische Studieren von Fallbeispielen zu erweitern.

Zur Aufstellung von Anforderungen und konkreten Lernzielen bedarf es, neben der Lerntheorie und den Grundlagen computergestützter Lernsysteme, zusätzlich vor allem der Auswahl und Strukturierung der Lerninhalte. Deshalb steht der konkrete Lerninhalt, in dieser Arbeit die „Leberchirurgie“, im Mittelpunkt des folgenden Kapitels.

Grundlagen medizinischer Lernsysteme und deren Anforderungen

Wichtige Erkenntnisse und Aspekte, die bei der Entwicklung von Lernanwendungen von Bedeutung sind, kommen aus der Psychologie und den Erziehungswissenschaften. In diesem Zusammenhang werden dort vor allem der Lernprozess und die damit verbundenen Lernziele erforscht. Durch die zunehmende Bedeutung des Computers werden verstärkt auch Aspekte des computerbasierten Lernens (Interaktivität, Adaptivität) untersucht.

In diesem Kapitel werden anfangs die verschiedenen Lernparadigmen vorgestellt. Sie bilden die didaktische Grundlage eines jeden Lernsystems. Danach werden sie auf computerbasierte Systeme übertragen, um ihren praktischen Nutzen zu verdeutlichen. Die Wahl eines computerbasierten Lernsystems zur Erreichung der Lernziele wird mit einer Diskussion der Vor- und Nachteile begründet.

Auf die Lernziele wird in drei unterschiedlichen Abschnitten des Kapitels eingegangen. Als erstes wird eine allgemeine Systematik vorgestellt, danach erklärt, welche Lernziele sich konkret mit einem computerbasierten Lernsystem umsetzen lassen und am Schluss dieses Kapitels werden sie auf das zu entwickelnde Lernsystem zugeschnitten. Desweiteren werden die konkreten Anforderungen an das zu entwickelnde Lernsystem aufgestellt, die sich aus dem vorhergehenden Kapitel und der Zielgruppenanalyse ergeben.

3.1 Lernprozess und Lernziele

Unter dem Prozess des Lernens wird sowohl der Erwerb von Wissen als auch die Aneignung von geistigen und körperlichen Fertigkeiten und Fähigkeiten verstanden. Desweiteren schließt dieser Prozess die Modifizierung von erworbenen Kenntnissen ein. Je nachdem, *wie* der Prozess aufgefasst wird, lassen sich verschiedene Paradigmen des Lernens unterscheiden.

Zusätzlich bieten Lernziele die Möglichkeiten, den Umfang an Wissen, Fähigkeiten, Fertigkeiten oder deren Modifizierung zu beschreiben. Somit kann die Frage, *was* mit dem Lernprozess vermittelbar ist, beantwortet werden.

3.1.1 Lernparadigmen

Ein Lernparadigma ist eine spezifische Sichtweise auf den Lernprozess (vgl. [BAUMGARTNER und PAYR, 1999]), die beschreibt,

- wer an dem Lernprozess beteiligt ist,
- nach welchen Gesetzmäßigkeiten das Lernen funktioniert und
- wie das Lernen unterstützt werden kann.

Aus dieser Sichtweise des Lernprozesses können Richtlinien abgeleitet werden, die bei der Mehrzahl der weiteren Entscheidungen zur Entwicklung von Lernanwendungen herangezogen werden. Im Folgenden sind die drei wichtigsten Vertreter im Überblick vorgestellt. Dabei wird vorrangig auf didaktisch relevante Aspekte eingegangen.

Behaviorismus

Der Behaviorismus versucht alle Vorgänge durch Verhalten (Behaviors) zu erklären, welche durch äußere Reize gesteuert werden (Konditionierung). Das Lernen ist aus der Sicht des Lernenden somit ein überwiegend passiver Vorgang. Die internen und individuellen Aspekte des Lernprozesses wie Bewusstsein, Denken oder Fühlen werden im Behaviorismus nicht berücksichtigt. Aus diesen Grundannahmen können für die behavioristische Didaktik nachstehenden Schlussfolgerungen gezogen werden (vgl. [MADER und STÖCKL, 1999] und [BAUMGARTNER und PAYR, 1999]):

- Komplexe Lerninhalte und Aufgaben werden in einfache Lernschritte zerlegt. Im Lernsystem werden die einzelnen Schritte in eine optimale, starre Reihenfolge geordnet und später präsentiert.
- Die Aufnahmekapazität von Wissen ist unbeschränkt. Je mehr Information konditioniert wird, desto mehr wird gelernt.
- Ein sofortiges Feedback ist besonders wichtig, da es auf ein konkretes Verhalten ausgerichtet ist (direkte Belohnung oder Bestrafung).

Das behavioristische Paradigma bietet keine ausreichende Erklärung des menschlichen Lernprozesses. Insbesondere das Verstehen, Anwenden und Bewerten komplexer Zusammenhänge bleibt bei dem behavioristischen Erklärungsmodell nahezu unberücksichtigt (vgl. [MADER und STÖCKL, 1999]). Ein zweiter Aspekt ist die Vernachlässigung von individuellen Lernfaktoren. So wird dem Lernenden wenig Raum gelassen, seine eigene Lernstrategie zu entwickeln. Stattdessen wird diese von der Lernanwendung vorgegeben.

Darüberhinaus ist die sofortige Reaktion auf ein Verhalten, die vom Behaviorismus gefordert

wird, nicht in allen Lernsituationen gewünscht. Insbesondere bei komplexen Lernaufgaben gibt es oft zahlreiche Wege, die zur Erreichung des Lernzieles führen. Dabei wäre es nicht sinnvoll, jedes Verhalten zu konditionieren.

Kognitivismus

Ziel des Kognitivismus ist es, das Wesen des menschlichen Denkens (Kognition) und Verstehens zu begreifen. Im Gegensatz zum Behaviorismus stehen Themen wie Wahrnehmung, Problemlösen und Wissen im Vordergrund. Der Lernende verarbeitet äußere Reize aktiv und selbstständig. Die Arbeit des menschlichen Gehirns wird als Prozess der Informationsverarbeitung interpretiert. Deshalb wird eine Analogie zum Computer und die Zusammenarbeit mit der „Künstlichen Intelligenz“ gesucht (vgl. [BAUMGARTNER und PAYR, 1999]). Charakteristisch für die kognitivistische Didaktik ist die Orientierung an Denkvorgängen. Folgende Merkmale sind bei der Erstellung eines Lernsystems unter kognitivistischen Gesichtspunkten zu berücksichtigen (vgl. [SCHREIBER, 1998] und [MADER und STÖCKL, 1999]):

- Für den Lernprozess sind hauptsächlich problemorientierte Lernsituationen geeignet. Diese werden in ihrer Komplexität reduziert. Viel Bedeutung kommt dem Lernen durch Erforschen und Entdecken zu.
- Die eigene Entwicklung von Lernstrategien ist wichtig, um die Aufgaben zu lösen.
- Die Aufnahmekapazität von Wissen ist beschränkt und sollte durch strukturierende Hilfen wie tutorielle Steuerung oder verschiedene Darstellungsformen unterstützt werden.
- Die Reaktion des Systems auf Aktionen des Lernenden muss nicht unmittelbar erfolgen.

Für das Lernen relevante, individuelle Faktoren des Lernenden wie Emotionen, situativer Zustand oder kulturelles Umfeld werden im kognitivistischen Ansatz nicht berücksichtigt (vgl. [BAUMGARTNER und PAYR, 1999]). Weiterhin wird im Lernprozess eine Komplexitätsreduktion der Aufgabe angestrebt. Dieser Ansatz ist in medizinischen Lernsystemen nicht geeignet, da die Aufgabenstellung so realitätsnah wie möglich bearbeitet werden sollte. Bei der Bearbeitung von Aufgaben mit voller Komplexität können kognitive Strukturen, wie ein vorgegebener Aufbau und Ablauf der Lernschritte, dennoch hilfreich sein.

Konstruktivismus

Der Grundgedanke des Konstruktivismus ist, dass das Wissen durch eine interne subjektive Konstruktion von Ideen und Konzepten entsteht. Der Lernprozess im konstruktivistischen Sinn hat nicht nur den Erwerb von Wissen, sondern auch dessen Modifizierung (Veränderung, Reorganisation, Verknüpfung) als Inhalt. Weiterhin können Einstellungen und Verhaltensweisen gelernt und verändert werden (vgl. [ISSING und KLIMSA, 1997]). Lernen ist somit die aktive Auseinandersetzung mit konkreten Lebenssituationen. Aus den konstruktivistischen Grundannahmen können die nachfolgenden didaktischen Konsequenzen abgeleitet werden (vgl. [SCHREIBER, 1998] und [MADER und STÖCKL, 1999]):

3 Grundlagen medizinischer Lernsysteme und deren Anforderungen

- Die Lernschritte orientieren sich inhaltlich an komplexen, realitäts- und berufsnahen Ereignissen und Aufgaben. Der konkrete Lerninhalt wird in einem größeren Kontext eingebettet.
- Die Komplexität der Aufgabe wird weder reduziert noch vereinfacht.
- Das Lernprogramm stellt den Lerninhalt bereit und unterstützt den Lernenden bei der Konstruktion seines Wissens.
- Fehler sind sehr wichtig und werden (später) durch ein Feedback aufgegriffen und korrigiert.
- Das Vorwissen ist von Bedeutung, da das neue Wissen in Bezug darauf konstruiert wird.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass kein Paradigma in seiner heutigen Form das menschliche Lernen umfassend beschreiben oder erklären kann. Der behavioristische Ansatz ist aufgrund moderner Lernvorstellungen (offene Lernwegstruktur, komplexe Lernsituationen, selbstgesteuertes Lernen u.ä.) als didaktische Grundlage einer Lernanwendung kaum geeignet. Sowohl der Kognitivismus als auch der Konstruktivismus beinhalten Aspekte, die für die Basis eines medizinischen Lernsystems relevant sind. Einerseits lässt sich aus dem konstruktivistischen Ansatz des selbstgesteuerten Lernens in komplexen und realitätsnahen Lernsituationen ableiten. Andererseits können die kognitiven Strukturen wie tutorielle Hilfen, die den Lernprozess unterstützen, verwendet werden.

Nicht nur die Aspekte, *wie* der Lernprozess verstanden werden kann, sind für die Entwicklung eines Lernsystems von grundsätzlicher Bedeutung, sondern auch *was* vermittelt werden kann, ist essentiell. Hierzu werden Lernziele definiert und systematisiert.

3.1.2 Systematik der Lernziele

Mit Hilfe der Lernziele kann der Umfang und der Inhalt des zu vermittelnden Wissens präzise beschrieben werden. Mittels der sorgfältigen Formulierung der Lernziele kann deren Erreichung zusätzlich überprüft und gemessen werden (vgl. [SCHREIBER, 1998]). Aus diesen Gründen ist eine entsprechende Definition der Lernziele und dessen gezielte Verfolgung in der Lernanwendung notwendig (vgl. [ISSING und KLIMSA, 1997]).

Lernziele werden für eine Lernanwendung idealerweise vor deren Erstellung herausgearbeitet und festgelegt, um den Lerninhalt entsprechend selektieren, strukturieren und gewichten zu können. Die Lernpsychologie unterscheidet im Wesentlichen drei Kategorien – *kognitive*, *affektive* und *psychomotorische* Lernziele. Für die vorliegende Arbeit sind nur Lernziele mit kognitiven Aspekten von Bedeutung und werden daher im Folgenden behandelt.

Kognitive Lernziele. Der Inhalt kognitiver Lernziele ist der Transfer von neuem Wissen auf einen praxisbezogenen Kontext oder auf eine neuartige Lernsituation. Nach [SCHREIBER, 1998] verfolgen kognitive Lernziele vor allem *reproduktive Aufgaben* (z.B. das Einüben der lateinischen Fachtermini), das *Anwenden einer Methode zur Aufgabenlösung* (z.B. das Beurteilen von Computertomographien) und das *Verstehen komplexer Zusammenhänge* (z.B. Prozesse

während chirurgischer Eingriffe). Es werden demnach hauptsächlich intellektuelle Fähigkeiten trainiert.

Lernzielarchitektur. Bei der Formulierung der Lernziele ist es hilfreich, eine hierarchische Struktur (siehe Abbildung 3.1) zu entwickeln, um nicht nur zusammenfassende und allgemeine Lernziele eines Lernsystems aufzustellen, sondern auch aufgabenspezifische Teilziele genau zu definieren. Dabei werden die Lernziele in Stufen wie beispielsweise *Richt-*, *Grob-* und *Feinziele* eingeteilt. Sie lassen sich in ihrer Abstraktheit und in ihrem Detaillierungsgrad unterscheiden und jeweils von der nächst höheren Lernzielebene ableiten.

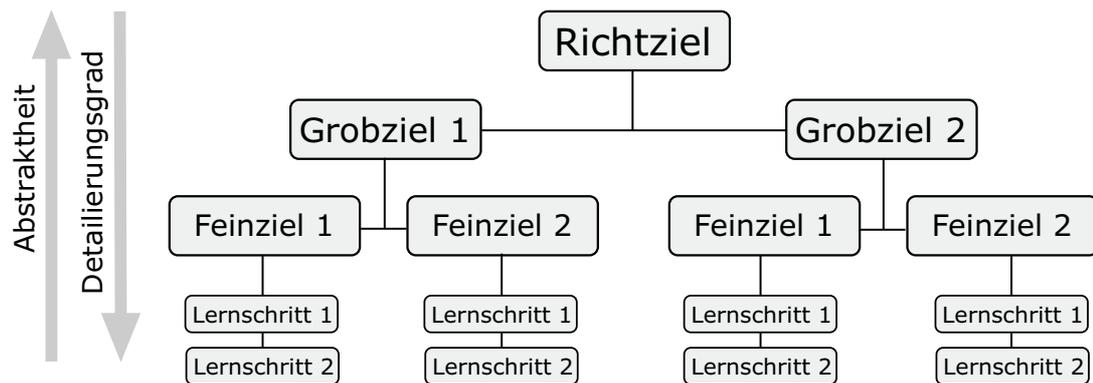


Abbildung 3.1: Lernzielarchitektur, Unterteilung in Richt-, Grob- und Feinziele.

Die Erkenntnisse über das Lernen und die damit verbundenen Prozesse sind die Grundlage eines computerbasierten Lernsystems. Je nach Verwendung von Lernparadigmen und Zielen der Lernanwendung sind verschiedene Lernkonzepte und damit auch unterschiedliche Ausprägungen von Lernsystemen möglich. Im Weiteren werden die Eigenschaften und die damit verbundenen Möglichkeiten von computerbasierten Lernsystemen näher beschrieben.

3.2 Unterstützung des Lernens durch computerbasierte Lernsysteme

Computergestütztes Lernen (*Computer Based Training, CBT*) ist ein Prozess der Wissensvermittlung, der den Einsatz von Computern und spezieller Lernsoftware voraussetzt. Dabei ist es möglich, komplexe medizinische Lerninhalte zu vermitteln. Das Lernen am Computer wird durch die Verwendung eines *CBT-Systems* ermöglicht.

CBT-Systeme haben sich allmählich aus den Anwendungen des Behaviorismus herausgebildet (vgl. [SCHULMEISTER, 2002]). Moderne, auf dem behavioristischen Ansatz basierende Lernanwendungen haben sich hauptsächlich für Wiederholungsübungen, wie dem Einüben von Fachterminologie bewährt. Für die Mehrzahl der heutigen lerndidaktischen Anforderungen ist der

behavioristische Ansatz jedoch ungeeignet. Sie werden hauptsächlich mit Hilfe von kognitivistischen oder konstruktivistischen Ansätzen entwickelt. Dadurch ist es möglich, komplexe, problemorientierte und adaptive Anwendungen zu realisieren.

3.2.1 Lernziele von CBT-Systemen

Mit einem CBT-System lassen sich kognitive Lernziele sehr gut bearbeiten, da sie besonders die geistig-rationale und intellektuelle Ebene ansprechen. *Affektive Lernziele* und *psychomotorische Lernziele* sind im Allgemeinen mit einem CBT-System schwieriger zu erreichen. Es ist oft sinnvoller, den Anwender mittels einer realitätsgetreuen Umgebung und praxisnahen Problemen „kognitiv“ auf seinen Einsatz vorzubereiten.

3.2.2 Konzepte von CBT-Systemen

CBT-Systeme können anhand des verwendeten didaktischen Paradigma verschiedene Konzepte zur Vermittlung von Informationen und Wissen verfolgen. In der Praxis bestehen CBT-Systeme oft aus einer Kombination von Charakteristika verschiedener Konzepte, wodurch die reinen Formen kaum Verwendung finden (ähnlich den Lernparadigmen). Sie haben hauptsächlich systematische Bedeutung.

Trotzdem verdeutlichen sie sehr gut, wie die lerntheoretischen Paradigmen praktisch umgesetzt werden können und welche Möglichkeiten der Kombination es dabei gibt. Im Rahmen dieser Arbeit sind insbesondere die folgenden Lernkonzepte bei CBT-Systemen relevant (vgl. [WENDT, 2002]).

Selbstlernkonzept. Computergestütztes Lernen nach dem Selbstlernkonzept bedeutet, dass der Lernprozess und die rezipierten Lerninhalte hauptsächlich vom Lernenden gesteuert werden und somit das CBT-System nur wenig Einfluss darauf nimmt. Der Lernende kann individuell durch die Lerninhalte navigieren, ohne an Lernstrukturen wie Lerneinheiten und Lernschritte gebunden zu sein. CBT-Systeme dieser Art werden häufig als „Informationssysteme“ oder „Wissensdatenbanken“ bezeichnet (vgl. [SCHREIBER, 1998]). In der medizinischen Ausbildung werden solche CBT-Systeme verwendet, um konkrete Fragen nachzuschlagen und schnell und zielgerichtet Antwort zu finden.

Tutorieller Konzept. Das tutorielle Konzept hat gegenüber dem Selbstlernkonzept eine „tutorielle“ Komponente, welche im gesamten Lernprozess helfend und beurteilend agiert. Lernsysteme, die auf dem tutoriellem Konzept arbeiten, sind oft durch die logisch aufeinander aufbauenden Lernsequenzen gekennzeichnet. Dies fördert den kognitiven Aufbau von Lernstrukturen. Ausserdem kann der Lernprozess immer dem aktuellen Lernfortschritt angepasst werden. In der Medizin werden klassische tutorielle Systeme hauptsächlich als Prüfungsvorbereitung eingesetzt.

Exploratives Konzept. Bei explorativen Konzepten steht das freie Untersuchen und Erforschen von Zusammenhängen im Vordergrund. Die wichtigsten CBT-Systeme, die auf diesem Konzept basieren sind die Simulationen. Simulationssysteme versuchen, einen Ausschnitt der

Realität zu „simulieren“, indem sie „dynamische Modelle von Apparaten, Prozessen und Systemen“ [SCHULMEISTER, 2002] abbilden. So sollen komplexe Aufgaben gelöst und eine selbstständige Handlungsweise trainiert werden. Simulationssysteme werden in der Medizin für die Patientenfallsimulation benutzt. Der Lernende bearbeitet den Fall aus der Sicht eines diagnostizierenden und behandelnden Arztes. Fallsimulationen haben den Vorteil, dass der Arzt das gelernte theoretische Wissen anwenden und individuelle Handlungsstrategien entwickeln kann, ohne dabei reale Patienten zu gefährden. Bei den vielen anatomischen und krankheitsbedingten Variabilitäten in der Leberchirurgie ist dies besonders wichtig.

Detaillierte Informationen und Diskussionen zu den einzelnen Lernkonzepten sind für die Arbeit nicht relevant, finden sich aber zum Beispiel bei [SCHREIBER, 1998] und [WENDT, 2002].

3.2.3 Charakteristische Eigenschaften von CBT-Systemen

CBT-Systeme besitzen durch ihre technische Basis gegenüber den konventionellen Lernmedien einige vorteilhafte Möglichkeiten, wodurch sie in vielen Lernsituationen sinnvoll eingesetzt werden können. Dennoch gibt es auch Nachteile, die bei der Entwicklung beachtet werden müssen. Für medizinische Lernsysteme sind vor allem die nachfolgenden prinzipiellen Aspekte interessant.

Medienintegration. Mit Hilfe des Computers wird die Integration verschiedener Medien (z.B. Texte, CT-Bilder, Video oder 3D-Modelle) in den Lernprozess erheblich vereinfacht.

Dynamik. Mit Hilfe dynamischer Lernmedien wie Animationen und Videosequenzen können Entwicklungsprozesse, Bewegungsabläufe und die Hinführung zum Lerngegenstand anschaulich dargestellt werden. Bei statischen Medien (z.B. Bücher oder Atlanten) sind zur Erreichung der gleichen Lernziele umfangreiche Erklärungen und Bildfolgen notwendig.

Interaktivität. CBT-Systeme können auf Eingaben des Lernenden reagieren, seine Aktionen verfolgen und ein entsprechendes Feedback anbieten und ermöglichen so beispielsweise die Navigation durch 3D-Szenen. Für die erfolgreiche Vermittlung von Wissen sind sinnvolle und praxisnahe Interaktionen wichtig (vgl. [SCHREIBER, 1998]). Die klassischen dynamischen Medien (z.B. Lehrvideo) hingegen besitzen kaum Interaktivität.

Adaptivität. Ein CBT-System kann sich einerseits an die Eigenschaften der Lerninhalte wie Struktur, Menge oder Reihenfolge anpassen. Andererseits kann es sich ebenso an die individuellen Kenntnisse und Anforderungen des Lernenden adaptieren und Parameter, wie das persönliche Lerntempo, die Lernstrategie und die Auswahl und Reihenfolge der Lerninhalte variieren. Dies ist zum Beispiel von Vorteil, um eine Unter- oder Überforderung des Lernenden zu vermeiden.

Training. Durch die didaktisch sinnvolle Kombination der oben bereits eingeführten Aspekte lassen sich komplexe Zusammenhänge und Abläufe in der Medizin authentisch darstellen. Besonders im Bereich der Chirurgie ist dadurch die für den Patienten risikofreie Aneignung von Erfahrungen möglich. Desweiteren können Entscheidungen zur Diagnose oder Therapie trainiert werden, die komplexe Lernaufgaben voraussetzen.

Textpräsentation. Ein wesentlicher Nachteil ist die schlechte Darstellung und Lesbarkeit von Text am Bildschirm, wodurch es schnell zur Ermüdung der Augen kommen kann. Deshalb sollte Text sparsam eingesetzt werden und umfangreiche Inhalte in Textform durch Strukturierungshilfen gegliedert und übersichtlich gestaltet werden.

Die vorgestellten Eigenschaften müssen bei der Entwicklung eines CBT-Systems stets beachtet werden, da sie Möglichkeiten darstellen, den Lernprozess effizienter gestalten zu können.

3.3 Anforderungsspezifikation

Die Zielgruppe ist neben der Lerntheorie (siehe Abschnitt 3.1) und dem Lerninhalt (Abschnitte 2.1 und 2.2) die dritte wichtige Komponente bei der Entwicklung eines Lernsystems (siehe Abbildung A.1 im Anhang). Sie wird im ersten Abschnitt dieses Kapitels eingehend analysiert. Aus den drei Komponenten lassen sich konkrete Anforderungen an das zu entwickelnde medizinische Lernsystem ableiten. Mit den aufgestellten Anforderungen ist es möglich, sowohl konkrete Lernziele zu definieren als auch die Erwartungen, die an den zukünftigen Anwender gestellt werden, zu beschreiben.

Es existieren viele weitere Anforderungen (siehe z.B. [ISSING und KLIMSA, 1997] oder [SCHULZ et al., 1999]), die sehr allgemeine Aspekte behandeln, wie zum Beispiel Datenschutz, Anonymisierung oder Einbeziehung der Zielgruppe in den Entwicklungsprozess. Sie werden im Rahmen dieser Arbeit vorausgesetzt und deshalb nicht näher untersucht.

3.3.1 Zielgruppenspezifikation und Anforderungen

Die Aufgabe der Zielgruppenanalyse ist die richtige Abgrenzung und Einschätzung der Zielgruppe. Es werden hauptsächlich die individuellen Voraussetzungen und Eigenschaften der Lernenden wie *Lernstufe*, *Medienkompetenz*, *Lernsituation*, *Lernort* und *Lernzeit* untersucht und Anforderungen direkt abgeleitet. Mit Hilfe dieser Informationen kann der Lernprozess explizit auf eine zielgruppenorientierte Didaktik ausgerichtet werden.

Zielgruppe. Die Zielgruppe des zu entwickelnden Lernsystems sind Ärzte, die für die Prüfung zum Chirurgen trainieren möchten, Fachärzte (Chirurgen) in der Weiterbildung zum Viszeralchirurgen, sowie Assistenzärzte, die sich auf einzelne Operationen gezielt vorbereiten müssen.

Lernstufe. Die Zielgruppe verfügt über ein umfangreiches theoretisches und praktisches Fachwissen, welches durch das Studium und anschließende Praktika erworben wurde und somit als Grundlage für das weitere Lernen dient. Es geht also vorrangig um die Vermittlung von Spezialwissen. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass die Zielgruppe in der Lage ist, analytisch und abstrakt zu denken.

Medienkompetenz. Einerseits gibt es Ärzte, die in ihrer Freizeit oder einer fachlichen Spezialisierung (computerbasierte Therapieplanung) sehr intensiv mit dem Computer arbeiten, so

dass sie erweiterte Computerkenntnisse besitzen. Andererseits werden auch Ärzte das Lernsystem verwenden, welche nur über Grundkenntnisse im Umgang mit einem Computer verfügen. Beide Gruppen müssen möglichst erfolgreich mit dem System lernen können.

Lernsituation. Das Lernen wird hauptsächlich im Selbststudium, also einzeln durchgeführt, wobei die Lerninhalte des Lernsystems auch als Vor- und Nachbereitung einer Operation dienen können. Durch die individuelle Bearbeitung kann auf eine interaktive Einweisung und eine kontextabhängige Hilfe nicht verzichtet werden. Oft haben die Klinikcomputer keine Lautsprecher, wodurch es dort technisch nicht möglich ist, Audioelemente zu verwenden.

Lernort und Lernzeit. Einerseits wird das Lernsystem während der Arbeit in der Klinik (Büro, Bibliothek) mit den dort verfügbaren Computern genutzt. Oft arbeiten dort viele Personen konzentriert auf engem Raum, so dass die Präsentation der Inhalte auch ohne Audioelemente (Sprache, Sound) durchgeführt werden muss. So besteht die Gewährleistung, dass andere nicht gestört werden. Desweiteren ist in der Klinik mit häufigen Unterbrechungen zu rechnen. Die Lernzeit, das Lerntempo und der Lernumfang sollten somit selbst einzuteilen sein.

Andererseits ist es denkbar, dass die Zielgruppe nach der Arbeit zu Hause am eigenen Rechner lernt. Dort ist die Benutzung von Audioelementen durchaus sinnvoll und die Möglichkeit von Störungen eher gering. In beiden Fällen ist die Nutzungszeit des Lernsystems meist knapp bemessen. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Zielgruppe an einer schnellen und präzisen Informationssuche und an einer zügigen Wissensvermittlung interessiert ist.

Aus der Zielgruppenanalyse können bereits wichtige Anforderungen an das zu entwickelnde Lernsystem gestellt werden. Für die weitere Einschätzung der Zielgruppe und zur Prüfung der Anforderungen wurden Gespräche mit der Zielgruppe geführt. Hinsichtlich dem Zugriff auf den Lerninhalt und der Adaptivität sind folgende Schlüsse zu ziehen:

- **Zugriff auf den Lerninhalt.** Aus der Analyse geht hervor, dass die zukünftigen Anwender in der Regel über einen sehr begrenzten Zeitrahmen verfügen. Dies hat zwei Konsequenzen für die Komponenten des Lernsystems. Erstens muss die Fallauswahl so konzipiert sein, dass die Fälle schnell zugänglich und für eine gezielte Suche ausreichend sicher voneinander differenzierbar sind.
Zweitens müssen die Lerninhalte innerhalb eines Falles in einer klaren, übersichtlichen und transparenten Struktur vorliegen, so dass der Zugang zur gesuchten Information schnell und unkompliziert angeboten werden kann.
- **Adaptivität.** Durch die individuelle Bearbeitung (Lernzeit, Lernumfang, Lerntempo) und die unterschiedliche Medienkompetenz der Zielgruppe bietet sich ein Lernsystem an, welches adaptiv auf die individuellen Kenntnisse und Anforderungen des Anwenders reagieren kann.

3.3.2 Anforderungen aus den lerntheoretischen Grundlagen

Aus den lerntheoretischen Überlegungen und deren Übertragung auf das konkrete Lernsystem ist es nicht sinnvoll, einen behavioristischen Ansatz als didaktische Grundlage zu verwenden.

3 Grundlagen medizinischer Lernsysteme und deren Anforderungen

Mit Hilfe des geplanten CBT-Systems sollen keine einzelnen aus ihrem Kontext herausgelösten Fakten und Vorgänge gelernt werden.

Lernkonzept. Eine gute Lösung ist die Synthese aus Kognitivismus und Konstruktivismus, die auch von [ISSING und KLIMSA, 1997] vorgeschlagen wird. Das zu entwickelnde Lernsystem sollte deshalb eine Mischung aus den verschiedenen Sicht- und Herangehensweisen der beiden Lernparadigmen und der abgeleiteten Lernkonzepte (Selbstlernkonzept, tutorielles Konzept, exploratives Konzept) sein.

Lernziele. Die wichtigsten Ziele des Lernsystems sind die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung und das Trainieren der Therapieplanung in der Leberchirurgie. Beide Lernziele besitzen eine hauptsächlich kognitive Ausprägung. Der Lernfokus des Systems liegt weder auf der Diagnostik noch der Operationssimulation, sondern auf dem konzeptionellen Schema, wie die Entscheidung zur Therapie getroffen wird und welche Schritte die Operationsplanung beinhaltet.

3.3.3 Anforderungen aus dem medizinischen Lerninhalt

Aus dem medizinischen Lerninhalt ergeben sich ebenfalls Anforderungen an das zu entwickelnde Lernsystem. Im folgenden sind die wichtigsten Punkte dargestellt.

Klinische Fälle. Die Anatomie und Chirurgie der Leber richtet sich sehr stark nach der Patientenspezifität. Sowohl die zahlreichen Variationen der gesunden und pathologischen Leberstrukturen als auch die darauf ausgerichteten Therapien sind immer patientenindividuell. In der Leberchirurgie existiert kein „Standard“-Fall, an dem das gesamte Wissen vermittelt werden kann. Daher ist es notwendig, dass ein entsprechendes Lernsystem auf einer Sammlung von repräsentativen, klinischen Fallbeispielen basiert.

Interaktive 3D-Darstellungen. Durch die zahlreichen Variationen ändern sich die räumlichen Verhältnisse der hepatischen Strukturen (z.B. Gefäß-Tumor Konstellation). Durch die Verwendung von traditionellen bildgebenden Verfahren wie der Computertomographie oder der Sonographie ist der Anwender in vielen Fällen nicht in der Lage, die räumlichen Variationen und komplexen Beziehungen adäquat zu interpretieren. Für eine intuitive und realitätsnahe Vermittlung sollten deshalb zusätzlich 3D-basierte Darstellungen eingesetzt werden.

Adaptivität. Die patientenindividuellen (und damit stark unterschiedlichen) Daten „fordern“ ein Lernsystem, welches mit den medizinischen Daten flexibel und adaptiv umgehen kann.

3.4 Konkrete Lernziele für ein leberchirurgisches Lernsystem

Die konkreten Lernziele lassen sich aus der Analyse der Zielgruppe und dem Lerninhalt direkt ableiten. Wie bereits in Abschnitt 3.3.2 beschrieben, sollen mit dem Lernsystem vor allem die

Therapieentscheidung und -planung trainiert werden. Auf diese beiden Ziele wird im Weiteren eingegangen. Die damit verbundenen Grob- und Feinziele werden näher beschrieben.

Therapieentscheidung. Eine der wichtigsten Entscheidungen während der Behandlung einer Lebererkrankung (z.B. Lebertumoren) ist die der Therapie. Dabei müssen vor allem die *Operabilität* und die *Resektabilität* im Vorfeld geklärt werden.

Die Operabilität entscheidet darüber, ob der Patient überhaupt zu einer Operation fähig ist. Hier wird die Verfassung und Konstitution des Patienten und des erkrankten Organs näher eingeschätzt (siehe Abschnitt 2.4.1). Ist der Patient operabel, wird über die Resektabilität und damit über die Art der Therapie entschieden (siehe Abschnitt 2.4). Ist die Erkrankung nicht resektabel, wird entweder eine Chemotherapie eingeleitet (verbunden mit der Überweisung zum Internisten) oder ein ablatives Verfahren (z.B. die Thermoablation) gewählt. Oft werden auch Kombinationstherapien durchgeführt, bei denen zum Beispiel die Verkleinerung des Tumors durch eine Chemotherapie erreicht wird und danach die Möglichkeit besteht, den nun resektablen Tumor zu entfernen.

Die Resektabilität von Lebertumoren ist teilweise (z.B. bei zentraler Tumorlokalisierung und bei multifokalen und bilobulären Metastasen) schwer zu beurteilen. Deshalb müssen vom Chirurgen für die Resektionsentscheidung mehrere Analyseschritte durchgeführt werden. Steht die Therapieentscheidung fest, wird die Therapie geplant, um eine optimale Operation durchzuführen. Hierfür benötigt der Chirurg ebenfalls die konkreten Analyseschritte.

Therapieplanung. Bei der Therapieplanung müssen die *Infiltration von Gefäßen und deren Lage* genau analysiert werden. Ferner werden der *Sicherheitsrand zum Tumor*, der *Verlauf der optimalen Resektionslinie* und das *verbleibende Parenchymvolumen* (vgl. Abschnitt 2.4.1) festgelegt. Nur so kann die Therapie bestmöglich durchgeführt werden.

In der nachfolgenden Aufzählung sind die konkreten Lernziele (Grob- und Feinziele), die sich aus der Therapieentscheidung und -planung ergeben, kurz zusammengestellt.

- Einschätzen, ob der Patient operabel ist.
 - Überprüfen, wie die Verfassung und Konstitution des Patienten ist.
 - Überprüfen, ob der Zustand der Leberfunktion eine Operation zulässt.
- Einschätzen, ob die Erkrankung resektabel ist.
 - Entscheiden, wie viele und welche Gefäße von der Erkrankung infiltriert sind.
 - Feststellen, ob der minimale Sicherheitsrand eingehalten werden kann.
 - Die Resektionslinie (-ebene) definieren.
 - Feststellen, welche Segmente von der Blutversorgung abgeschnitten werden.
 - Feststellen, ob ausreichend Parenchym für die Regeneration verbleiben würde.
- Entscheiden, welche Therapieform gewählt wird.

Mit Hilfe der in diesem Kapitel aufgestellten Anforderungen und Lernziele ist es möglich, bereits existierende Lernsysteme zu untersuchen und für eine mögliche Verwendung einzuschätzen.

Lernsysteme in der Medizin

Die im vorigen Kapitel erarbeiteten Anforderungen werden nun verwendet, um die bestehenden CBT-Systeme einordnen zu können. Die einzelnen Anforderungen sind in der nachfolgenden Aufzählung grob zusammengefasst.

- (1) Zielgruppe – Assistenzarzt und Arzt in der Weiterbildung (Leberchirurgie)
- (2) Lernziele – Trainieren von Entscheidungsfindung und Therapieplanung
- (3) Fallbasiertes Lernen
- (4) Adaptives Lernsystem
- (5) Interaktive 3D-Darstellungen
- (6) Erweiterte Fallauswahl

Die CBT-Systeme, die für diese Arbeit relevant sind, können in drei verschiedene Gruppen gegliedert werden – *allgemeine medizinische Lernsysteme*, *chirurgische Lernsysteme* und *Lernsysteme der Leberchirurgie*.

Allgemeine medizinische Lernsysteme decken nicht ein einzelnes Fachgebiet ab, sondern versuchen verschiedenste Krankheitsbilder zu vermitteln. Für die konkrete *Wissensvermittlung in der Chirurgie* konzentrierte sich die Entwicklung von Trainingssystemen bisher auf die Simulation der chirurgischen Techniken (z.B. die Simulation von Gewebedeformationen und Blutungen oder die Handhabung der chirurgischen Instrumente). Lernsysteme, die Fakten- und Anwendungswissen konkret für die *Leberchirurgie* anbieten, werden im dritten Abschnitt vorgestellt. Sie werden den aktuellen Stand der Lernsysteme mit leberchirurgischen Inhalt verdeutlichen.

4.1 Allgemeine medizinische Lernsysteme

Für die medizinische Ausbildung gibt es derzeit vorwiegend Systeme, die Basiswissen an „Standard“-Organen und -Strukturen vermitteln wie zum Beispiel der Voxelman [HÖHNE et al., 2003] oder der 3D-Anatomieatlas [MCCRACKEN, 2000]. Diese Systeme machen es möglich, die Anatomie des Menschen auf Grundlage eines „idealen“ 3D-Modells zu erkunden. Dabei werden weder Lernsteuerungsmechanismen und Lernkontrollen, noch fallbasierte Daten verwendet. Dennoch gibt es eine Reihe an allgemeinen medizinischen Systemen, die fallbasiert arbeiten. Sie konzentrieren sich häufig auf den typischen Behandlungsablauf (Anamnese, Diagnostik, Therapie, usw.) oder einen Teilbereich daraus. Zwei der wichtigsten fallbasierten Lernsysteme sind CAMPUS und CASUS.

CASUS [FISCHER et al., 1996] ist ein Lernsystem, welches auf klinischen Lernfällen basiert. Die Fallpräsentation richtet sich nach dem Fallablauf. Die Abfolge wird in Untereinheiten gezeigt, die durch den Lernenden ausschließlich Schritt für Schritt durchlaufen werden können (siehe Abbildung 4.1(a)). Dabei konzentriert sich CASUS vor allem auf die Diagnostik und die daraus resultierenden diagnostischen Entscheidungen. Im Anschluss an die Fallbearbeitung erfolgt keine Auswertung. Trotz der multimedialen Aufbereitung der Patientendaten werden hauptsächlich statische Medien eingesetzt. CASUS ist hauptsächlich für die Ausbildung von Medizinstudenten konzipiert.

In CAMPUS [RIEDEL et al., 2000] wird Studenten eine Sammlung von medizinischen Fallstudien zur Verfügung gestellt. Der Fallablauf ist hier nicht strikt vorgegeben; sondern es kann durch ein zentrales Fenster (Arztzimmer) jeder Teil des Falles gewählt werden (siehe Abbildung 4.1(b)). CAMPUS konzentriert sich nicht nur auf die Erstellung der Diagnose, sondern auch auf die Therapieentscheidung. Die konkrete Therapieplanung wird bei diesem System nicht behandelt. Für die Präsentation werden hauptsächlich statische Medien wie Text und Bild verwendet.

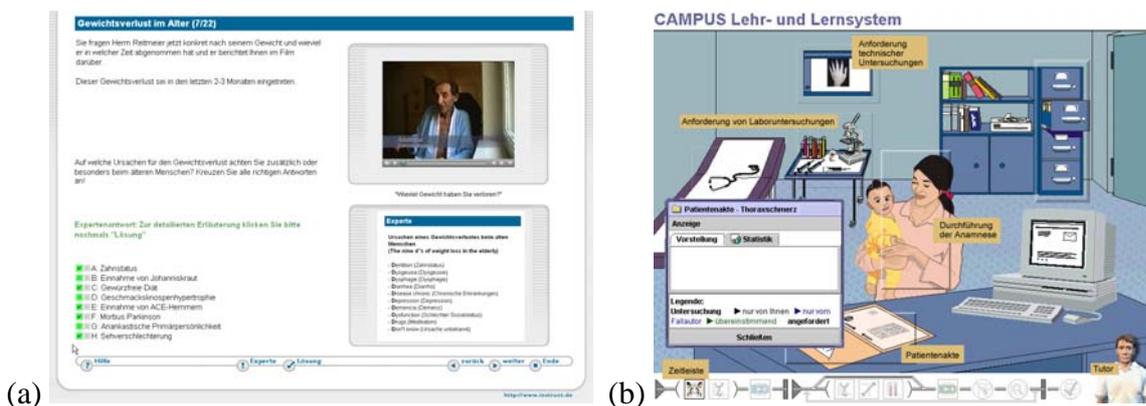


Abbildung 4.1: Allgemeine medizinische CBT-Systeme. (a) Patientenvorstellung im Lernsystem CASUS [FISCHER et al., 1996], (b) Arztzimmer im Lernsystem CAMPUS [RIEDEL et al., 2000].

Bei CASUS und CAMPUS wird die 3D-Visualisierung zum Erreichen der Lernziele nicht eingesetzt, obwohl dies sicherlich förderlich wäre. Beide Systeme sind die Basis für Lernanwendungen in unterschiedlichen Fachrichtungen. Konkrete chirurgische Lernsysteme existieren dort jedoch nicht. Die Fallauswahl findet bei beiden Systemen in der Anwendung selbst oder über die gemeinsame Internet-Schnittstelle CASEPORT [FISCHER, 2002] statt.

4.2 Lernsysteme für die Chirurgie

Die Motivation der Simulationsentwicklung ist insbesondere ein Mangel an für die Ausbildung freigegebener Leichen und die Tatsache, dass deren Körper nur bedingt geeignet sind (keine Blutungen, veränderte Größenverhältnisse), um eine praxisnahe Lehre durchzuführen. Das Ziel der Chirurgiesimulation ist es, die Operationstechnik zu erlernen und zu üben. Da hier zusätzliche Geräte mit dem Lernsystem gekoppelt sind, können hauptsächlich psychomotorische Lernziele vermittelt werden. Ein herausragender Vertreter dieser Lernsimulationen ist der KARLSRUHE ENDOSCOPIC SURGERY TRAINER, der seit Ende der 80er Jahre am Forschungszentrum Karlsruhe entwickelt wird.

Bei dem Lernen mit dem KARLSRUHE ENDOSCOPIC SURGERY TRAINER [KÜHNAPFEL et al., 2000] stehen zwei Lernziele im Vordergrund. Erstens die sehr komplexe Motorik und das haptische Feedback (realisiert durch angepasste chirurgische Instrumente, siehe Abbildung 4.2(a)) und zweitens ein möglichst realistisches visuelles Feedback (realisiert durch Blut- und Gewebesimulation, siehe Abbildung 4.2(b)). Um dieses Ziel zu erreichen, wurden ausschließlich minimal-invasive Operationen nachgestellt und diese an einfachen geometrischen Modellen der Patientenanatomie simuliert. Somit ist es dem Lernenden nicht möglich, klinische Fälle (patientenspezifische Daten) zu bearbeiten und die Vielfalt anatomischer Beziehungen zu erfahren. Eine Fallauswahl ist auf Grund dessen nicht notwendig. Weiterhin beschränken sich die Entscheidungen auf die Operation. Die Therapieplanung mit ihren Entscheidungen wird nicht berücksichtigt. An dieser Art System können vor allem angehende und ausgebildete Chirurgen die chirurgischen Techniken motorisch erfahren.

4.3 Lernsysteme für die Leberchirurgie

Die Leberchirurgie vermittelt einen sehr speziellen und komplexen Lerninhalt. Deshalb gibt es für dieses Gebiet (aber auch Niere, Pankreas oder ähnlichem) nur sehr wenige Lernsysteme. Diese dienen entweder als Nachschlagewerk (CHIRURGIE DER LEBER), beinhalten nur teilweise Fälle aus der Leberchirurgie (WEBSURG) oder befinden sich in einem prototypischen Stadium (HEPA SURGERY TRAINER).

CHIRURGIE DER LEBER [KLEMPNAUER und KIP, 1997] ist ein umfassendes Lernsystem zur Leberchirurgie. In den Grundzügen ist es einem Informationssystem (Nachschlagewerk) sehr

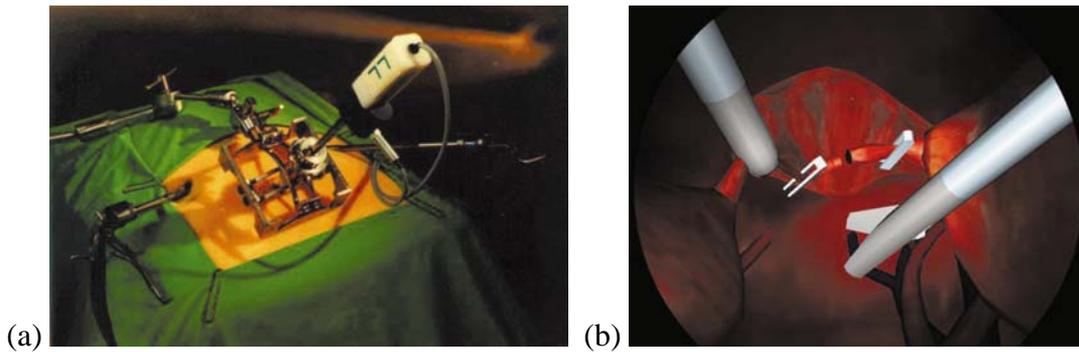


Abbildung 4.2: Der KARLSRUHE ENDOSCOPIC SURGERY TRAINER, entnommen aus [KÜHNAPFEL et al., 2000]. (a) Künstliche Bauchhöhle und an das Lernsystem gekoppelte Instrumente, (b) Virtuelle intraoperative Visualisierung.

ähnlich. Neben verschiedenen Themen wie beispielsweise „Geschichte“, „Chirurgische Anatomie der Leber“, „Spezielle Operationsverfahren“ werden zusätzlich Fallbeschreibungen angeboten. Diese sind zwar fallbasiert, aber ausschließlich als Präsentationen angelegt und kaum interaktiv (siehe Abbildung 4.3(a)) zu bearbeiten. Animationen und 3D-basierte Darstellungen sind nicht vorhanden. Die Entscheidungsfindung und Therapieplanung werden unberücksichtigt gelassen. Somit wird ausschließlich Faktenwissen vermittelt, welches für eine studentische Zielgruppe gedacht ist.

WEBSURG [MUTTER und MARESCAUX, 2003] ist ein Präsentationssystem für Chirurgen, welches anhand von Eingriffen an der Leber die chirurgischen Techniken vorstellt. Das Training der Therapieentscheidung und Therapieplanung ist nicht möglich. Es wird von einem „idealen“ Fall ausgegangen und an geeigneter Stelle im Lernsystem auf mögliche Variationen hingewiesen. WEBSURG basiert somit nicht auf patientenspezifischen Falldaten. Die Lerninhalte werden durch adaptive Visualisierungen und Animationen didaktisch anspruchsvoll vermittelt. Gut umgesetzt ist auch die lineare, dennoch flexible Navigation durch die einzelnen Schritte (siehe 4.3(b)), die dadurch die allgemeine Vorgehensweise in der Chirurgie widerspiegelt.

Der HEP A SURGERY TRAINER [MEYER et al., 2003] stellt eine visuelle Ideenkonzeption mit wenig Funktionalität dar. Sie kann dennoch als Vorlage für ein Lernsystem mit leberchirurgischen Inhalt dienen. Eine Auswahl der Fälle ist durch eine einfache Aufzählung angedacht. Das Konzept ist durch die weite Verbreitung für den Anwender sicherlich gewohnt, aber für ein Lernsystem nicht optimal. Die Auswahl kann zwar schnell, aber nicht zielgerichtet durchgeführt werden, da die Zusatzinformationen eines Falles oder die Vergleichsmöglichkeiten zu den Fällen der gesamten Falldatenbank fehlen.

Die Gestaltung der Benutzungsoberfläche ist durch die klare Aufteilung gut gelungen (siehe Abbildung 4.4). Der Lernbereich, in dem die Lerninhalte vermittelt werden sollen, ist zentral positioniert und visuell gut von den anderen Bereichen (Navigation, Fallsteuerung, Programmsteuerung) abgegrenzt.

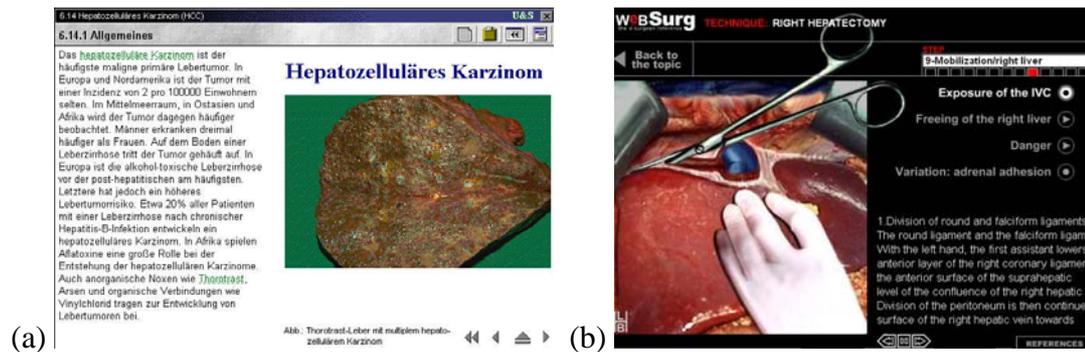


Abbildung 4.3: Spezielle Lernsysteme für die Leberchirurgie. (a) CHIRURGIE DER LEBER, entnommen aus [KLEMPNAUER und KIP, 1997]. (b) WEBSURG, entnommen aus [MUTTER und MARESCAUX, 2003].



Abbildung 4.4: HEPA SURGERY TRAINER, entnommen aus [MEYER et al., 2003].

4.4 Fazit

Für das zu entwickelnde Lernsystem ist es zwingend notwendig, mit fallspezifischen Daten zu arbeiten (vgl. Abschnitt 3.3.3). Einige der untersuchten Lernsysteme basieren nicht auf einer Falldatenbank (z.B. WEBSURG).

Lernsysteme wie CAMPUS und CASUS vermitteln Fakten- und Anwendungswissen, auch spe-

ziell die Entscheidungsunterstützung, zwar fallbasiert, möchten aber Medizinstudenten als Zielgruppe erreichen und bieten außerdem keine chirurgischen Lerninhalte an. Bei konkreten chirurgischen Lernsystemen wurde bisher der Fokus auf Simulationssysteme ausgerichtet. Diese behandeln vorrangig psychomotorische Lernziele und benötigen zusätzliche, mit dem Lernsystem gekoppelte Geräte, nutzen jedoch interaktive 3D-Darstellungen. Spezielle Lernsysteme für die Leberchirurgie verwenden weder eine Falldatenbank noch 3D-Darstellungen (CHIRURGIE DER LEBER). Der HEPASURGERYTRAINER befindet sich in einem prototypischen Stadium. Eine erweiterte Fallauswahl, welche den Anforderungen an das zu entwickelnde Lernsystem genügt, ist in keinem der untersuchten Systeme vorhanden. Die Ergebnisse der Analyse sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst. Übereinstimmungen zu den in Abschnitt 3.3.2 aufgestellten Anforderungen sind dabei grau hinterlegt. Der HEPASURGERY TRAINER ist auf Grund seines prototypischen Stadiums in der Tabelle nicht berücksichtigt.

Trotz der beeindruckenden theoretischen Möglichkeiten von CBT-Systemen werden viele Vorteile wie Adaptivität oder Interaktivität nicht oder nicht ausreichend umgesetzt. Desweiteren sind sie oft nicht an die konkrete Lernsituation angepasst. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein fallbasiertes Lernsystem für die Leberchirurgie mit dem Schwerpunkt der Therapieentscheidung und Therapieplanung bisher nicht existiert.

	CAMPUS	CASUS	KISMET	Chirurgie der Leber	WebSurg
Zielgruppe	Student der Medizin	Student der Medizin	Facharzt für Chirurg	Student der Medizin	Facharzt für Chirurg
Lernziele	Diagnostik, Entscheidung	Diagnostik, Therapie, Entscheidung	Operationstechnik	Faktenwissen Leberchirurgie	Chirurgische Techniken
Fallbasiert	ja	ja	nein	nein	nein
Adaptivität	teilweise	kaum	teilweise	nein	kaum
3D-Interaktionen	nein	nein	ja	nein	nein
Fallauswahl	Aufzählung, Caseport	Aufzählung, Caseport	keine	Aufzählung	Aufzählung

Tabelle 4.1: Allgemeine medizinische, chirurgische und speziell leberchirurgische Lernsysteme im Vergleich, bezogen auf die Anforderungen an das zu entwickelnde Lernsystem (KISMET – Karlsruhe Endoscopic Surgery Trainer).

Entwurf des LIVERSURGERYTRAINER

Aufbauend auf den Kapiteln 2 – 4 beschreibt dieser Teil der Arbeit den Entwurf des LIVERSURGERYTRAINER, eines Lernsystems für die Leberchirurgie. Zu Beginn wird der Informationsraum beschrieben und systematisiert sowie auf die Besonderheiten der Beschaffung und der Aufbereitung der einzelnen Medien eingegangen. Anhand der erhobenen Daten wird anschließend die Konzeption und Struktur des LIVERSURGERYTRAINER sowie ein erster visueller Entwurf entwickelt. Mögliche Interaktionsformen und Visualisierungsaufgaben, die einen wichtigen Teil des Entwurfes darstellen, werden in den weiteren Abschnitten diskutiert.

5.1 Beschreibung und Systematisierung des Informationsraumes

Der LIVERSURGERYTRAINER ist auf klinischen Falldaten basierend, zu entwerfen. Die dafür notwendigen Fälle stammen aus dem *Allgemeinen Krankenhaus Celle* und werden von *Prof. Dr. Karl J. Oldhafer* anonymisiert bereitgestellt. Die repräsentative Auswahl erfolgte im Vorfeld nach Erkrankung und Therapietechnik.

Für jeden Fall ist ein Datensatz, bestehend aus Videoaufnahmen, Dokumenten der Patientenakte, CT-Schnittbildern, Segmentierungsergebnissen, 3D-Modellen und histologischen Daten, erhoben worden. Zusätzlich wurden allgemeine Daten zur Leberchirurgie wie historische Originaldokumente (Abbildung 5.1(a)) oder Modelle von Operationsinstrumenten (Abbildung 5.1(b)) zusammengetragen.

Im Folgenden werden wichtige Falldaten vorgestellt und deren Aufbereitung beschrieben. Die Aufbereitung enthält sowohl technische als auch didaktische Gesichtspunkte.

Redacteur: Professor Dr. C. A. Kwald.

Montag, den 16. Januar 1888.

Inhalt: I. Langenbuch: Ein Fall von Resection eines linksseitigen Schnürlappens der Leber. — Herr Professor Trendelenburg in Bonn: Wenzel: Zur Casu Ohrenkrankungen bei Railway-Spine. — IV. Bartels: Ein Anatomie und Mykologie (Fortsetzung) — Goeltzsch und K. Reich für Behörden, Aerzte, Apotheker und Gewerbetreibend-Gesellschaft. — VII. Tagesgeschichtliche Notizen. — VIII. Am

L. Ein Fall von Resection eines linksseitigen Schnürlappens der Leber. Heilung.

Vorgetragen am 7. November 1887 in der freien Vereinigung der Chirurgen Berlins.

Von

Dr. C. Langenbuch.

M. H.! Im November 1886 wurde eine weibliche Patientin von 30 Jahren eines Erysipels wegen in das Lazaruskrankenhaus aufgenommen. Das Exanthem nahm einen schweren Verlauf und wanderte über die ganze Körperfläche. Wochenlang lag die Patientin schwer darnieder, genas aber allmählig. Als ich sie nun eines Tages bei der Visite zu ihrer endlichen Genesung beglückwünschte und ihr die baldige Rückkehr in ihr Haus in Aussicht stellte, meinte sie, sie werde wohl noch länger bei uns bleiben müssen, da ihr Leben doch keinen Werth für sie haben würde, wenn wir nicht ihren Bauch, in dem eine sehr schmerzhaftes Geschwulst stecke, auch gründlich curirten. Seit 8 Jahren leide sie sehr und habe eigentlich immer Schmerzen im Leibe, im Stehen sowohl, als im Liegen, bei letzterem aber am meisten. Am besten wäre ihr noch, wenn sie auf dem Bauche läge, da dann der schmerzhaftes Druck sich deutlich mindere. Wenn sie dagegen auf dem Rücken läge, bekäme sie zu dem andauernden Schmerz ein sehr lästiges Herzklopfen, tiegende Hitze im Kopf und den

(b)



Abbildung 5.1: Beispiele für allgemeine Daten zur Leberchirurgie. (a) „Resection eines linksseitigen Schnürlappens der Leber“, Artikel aus der Berliner Klinischen Wochenschrift von 1888 (erste Leberresektion in Deutschland), (b) Modell einer bipolaren Pinzette, erstellt von ANDREAS PEULER (Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg).

5.1.1 Videoaufnahmen

Lehrfilme (Videoaufnahmen) sind in der medizinischen Weiterbildung weit verbreitet. Sie kommen zum Einsatz, wenn zeitliche Vorgänge realitätsgetreu und detailreich wiedergegeben werden müssen. Im LIVERSURGERYTRAINER sind sie für die Vermittlung der leberchirurgischen Operationstechniken, der intraoperativen Sonographie und zur Aufnahme des Resektates notwendig.

Operationsvideos. Die Operationen sind über den kompletten Zeitraum des Eingriffs mit einer Kamera digital aufgenommen (siehe Abbildung 5.2(a)). Während der Operation überprüft der Chirurg mit Hilfe der intraoperativen Sonographie die Befunde der präoperativen Diagnostik (vgl. Abschnitt 2.4.1). Das Resektat ist nach der Entnahme ebenfalls mit einer Videokamera aufgezeichnet. Zur Vermessung und späteren Größeneinschätzung des entnommenen Gewebes wird ein nicht reflektierendes Lineal verwendet. Idealerweise werden die Videos von Operation, Sonographie und Resektat, wie in Abbildung 5.2(b) zu sehen, während der Aufnahme kommentiert (z.B. durch einen Assistenzarzt oder den Chirurgen). Dies ist vor Ort aber nur begrenzt durchführbar.



Abbildung 5.2: Videoaufnahmen während einer Leberoperation am Allgemeinen Krankenhaus Celle. (a) In etwa gleiche Ausrichtung von Kamera, Licht und Sichtrichtung des Chirurgen, (b) Kommentierung der laufenden Aufnahmen am Kontrollmonitor.

Der Aufnahmeprozess ist nicht nur sehr zeit- und kostenintensiv, sondern oft auch inhaltlich redundant, d.h. während den Leberoperationen werden durch den Chirurgen viele sich ähnelnde Arbeitsschritte (z.B. Blutungen stillen, Vernähen von Gefäßen) durchgeführt. Deshalb ist es sinnvoll, nur ausgewählte Operationen zu dokumentieren und somit das Spektrum an Erkrankungen und Therapievorgehen möglichst repräsentativ abzudecken.

Aufnahmebedingungen. Durch die besonderen Gegebenheiten im Operationssaal (sterile Arbeitsumgebung, künstliche, nicht gleichmäßige Beleuchtung, Glanzlichter auf den Bauchorganen u.ä.) ist es schwierig, hochwertige Videoaufnahmen zu erstellen. Dazu bedarf es einerseits eines Operationsteams, welches mit dem Aufnahmeteam kooperiert und andererseits eines Aufnahmeteams mit ausreichend filmtechnischer Kompetenz.

Aufbereitung. Zur Verwendung im LIVERSURGERYTRAINER müssen die Videos aufbereitet und mit Expertenwissen angereichert werden. Ein erster Schritt beinhaltet die Überarbeitung der erstellten Operationsaufnahmen mit Blick auf Modularität, Übertragbarkeit und Fallspezifität. Dies bedeutet, dass für jeden Fall sowohl universelle als auch repräsentative Videoabschnitte herausgesucht werden. Abbildung 5.3 zeigt den Ausschnitt eines Videos, der zwar von einem konkreten Fall stammt, aber durch seinen unspezifischen Inhalt (Blutstillung an der Resektionsfläche) auch auf andere Fälle übertragen werden kann.

5.1.2 Patientenakte

Die Patientenakte enthält ausschließlich Berichte und Untersuchungen in schriftlicher Form. Besonders wichtige Informationen sind die Übersicht zur *Anamnese*, die Berichte über die ein-



Abbildung 5.3: Blutstillung der Resektionsfläche. Ein Videoausschnitt, der universell eingesetzt werden kann.

zelen *Untersuchungen und Befunde* sowie die erstellte *Diagnose* und die *Dokumentation der Operation*.

Aufbereitung. Alle Dokumente liegen in Papierform vor und sind hauptsächlich handgeschrieben. Informationen aus diesen Dokumenten, die für den LIVERSURGERYTRAINER relevant sind, werden vorselektiert und individuell digitalisiert. Vereinzelt können die Papiere und Akten durch eine Texterkennungssoftware in editierbare digitale Dokumente umgewandelt werden. Dies erleichtert die Aufbereitung der Patientenakte. Die Interpretation der Dokumente ist jedoch durch die häufige Verwendung der „medizinischen Fachsprache“ erschwert.

5.1.3 CT-Datensätze

Die CT-Datensätze unseres klinischen Partners werden bei MEVIS (*Centrum für Medizinische Diagnosesysteme und Visualisierung*) in Bremen mit Hilfe von HEPAVISION [BOURQUAIN et al., 2002] analysiert. Diese Software dient der Analyse intrahepatischer Strukturen (Segmentierung und Analyse von Leber, Lebertumoren und Gefäßbäumen, Lagebeziehungen und funktionellen Aspekten). Zusätzlich werden bei MEVIS 3D-Modelle der einzelnen Leberstrukturen und Funktionsanalysen auf Grundlage der Segmentierungsergebnisse erstellt (siehe Abbildung 5.4 für die allgemeine Verfahrensweise). Die Ergebnisse der Bildanalyse dienen als Grundlage für die Therapieplanung in der Klinik und werden gleichzeitig dem LIVERSURGERYTRAINER anonymisiert zur Verfügung gestellt.

Datenformate. Die Ergebnisse der Analyse werden in zwei verschiedenen Dateiformaten abgespeichert. Die Bilddaten stehen in einer 3D-TIFF-Datei (*.tiff) und die dazugehörigen Header-Informationen in einer DICOM-Datei (*.dcm) zur Verfügung. In einem XML-Dokument (*.xml) ist die Struktur, welche die Informationen zu den Patienten- und Bilddaten enthält und die Art und den Speicherort der Segmentierungsergebnisse beschreibt, abgelegt. Zusätzlich werden Textdateien (*.txt) erstellt, die als Ergebnis der Skelettierung (Gefäßanalyse) den hierarchischen Graphen der Gefäße beschreiben. Diese sind für die authentische Visualisierung von Gefäßen erforderlich (siehe Abschnitt 5.4.1).

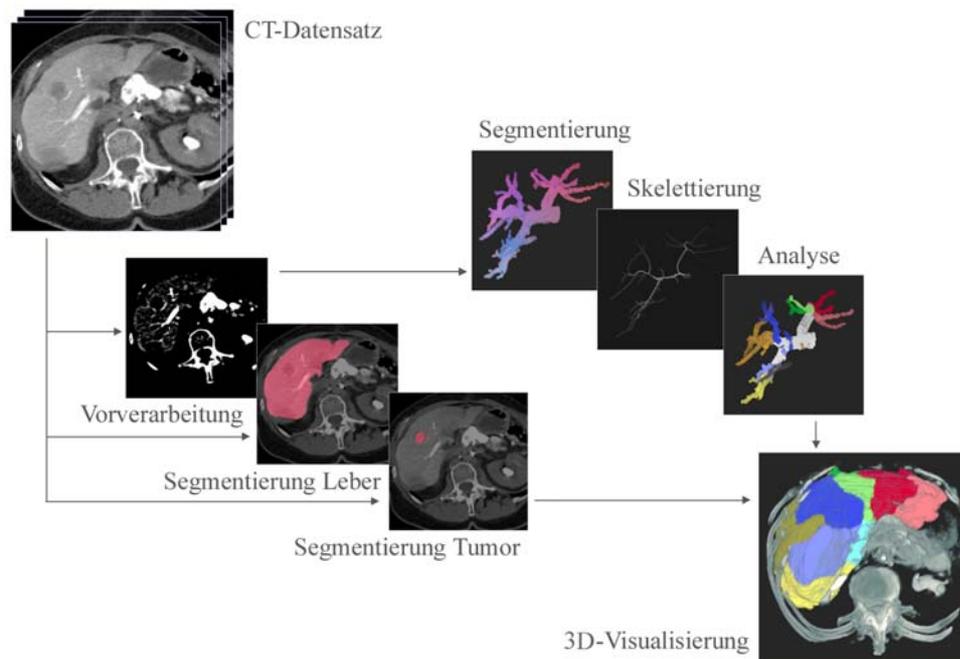


Abbildung 5.4: Analyse eines CT-Datensatzes bei MEVIS (*Centrum für Medizinische Diagnosesysteme und Visualisierung*) in Bremen. Angelehnt an [SELLE et al., 2002].

Aufbereitung. Aus den MEVIS-Falldaten lassen sich unter Nutzung der Graphikbibliothek ILAB [HAHN et al., 2003] einzelne CT-Schichten als 2D-Bilddaten (*.jpg, *.tiff, *.png) abspeichern. Die 3D-Daten der segmentierten Strukturen, werden als einzelne oder kombinierte OPENINVENTOR-Modelle (*.iv) gesichert und stehen somit separat zur Verfügung.

5.1.4 Histologische Daten

Nach der Operation wird das entnommene Gewebe zur histologischen Untersuchung geschickt. Dort wird der Befund in einem schriftlichen Bericht diskutiert. Dieser liegt der Patientenakte bei und wird, wie in Abschnitt 5.1.2 beschrieben, aufbereitet. Zur Befundung werden weiterhin mikroskopische und makroskopische Aufnahmen des Resektates erstellt, die dem LIVERSURGERYTRAINER mit zusätzlichen Annotationen zur Verfügung stehen.

5.1.5 Weitere Materialgenerierung

Zusammenfassend stehen für jeden Fall im LIVERSURGERYTRAINER die Patientendokumentation, CT-Datensatz, segmentierter Datensatz und daraus abgeleitete 3D-Modelle, sowie Aufzeichnungen von Operationen, Ultraschall und Resektaten zur Verfügung. Eine weitere Möglichkeit der Materialgenerierung ergibt sich mit den Anwendungen HEPAVISION und INTERVENTIONPLANNER.

HepaVision / InterventionPlanner

Zur Generierung von zusätzlichen fallspezifischen Daten und Visualisierungen kommen die Anwendungen HEPAVISION und der INTERVENTIONPLANNER [PREIM et al., 2003] zum Einsatz. Beide Systeme basieren auf der Graphikbibliothek ILAB.

Für den LIVERSURGERYTRAINER sind nicht nur die intrahepatischen Strukturen, die von HEPAVISION im Rahmen der Therapieplanung erstellt werden, relevant, sondern auch extrahepatische Strukturen. Durch die weitere Verwendung von HEPAVISION lassen sich, wie in Abbildung 5.5(a) angedeutet, aus den CT-Daten ebenso benachbarte Organe und Knochenstrukturen (vgl. Tabelle 2.1, Seite 6) segmentieren, die für die Vermittlung der Lerninhalte (z.B. die topographische Lage der Leber) notwendig sind.

Mit Hilfe des INTERVENTIONPLANNER können 2D- und 3D-Visualisierungen erstellt werden (siehe Abbildung 5.5(b)). Dies sind insbesondere Bilder mit eingezeichneter Vermessung (Tumorgöße, Abstand zu Gefäßen u.ä.), mit Darstellungen der Resektionslinien und mit farbigen Überlagerungen von Segmentierungsergebnissen. Weiterhin ist es möglich, Abbildungen mit Volumen-Rending oder Silhouetten zu generieren. Die erhobenen und somit zur Verfügung stehenden Daten stellen die komplette Datenbasis für jeden einzelnen Fall dar.

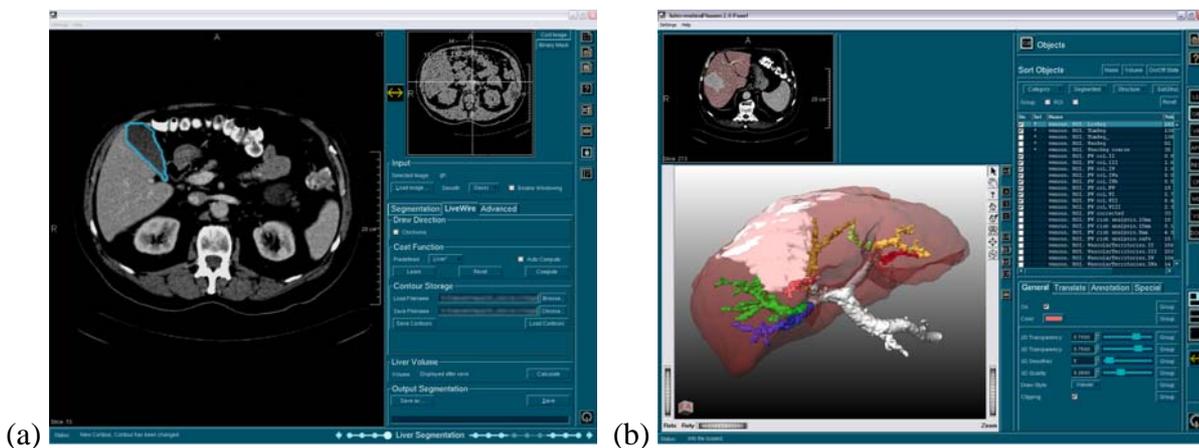


Abbildung 5.5: Benutzeroberfläche von HEPAVISION und dem INTERVENTIONPLANNER. (a) Segmentierung von Strukturen (hier Galle) durch HEPAVISION [BOURQUAIN et al., 2002], (b) 2D- und 3D-Visualisierung mit dem INTERVENTIONPLANNER [PREIM et al., 2003].

5.2 Konzeption und Struktur

Für die Struktur des LIVERSURGERYTRAINER sind drei Bereiche wesentlich – der gegliederte *Lerninhalt*, die hierarchisch geordneten *Lernziele* und das *didaktische Konzept*. Sowohl die ersten beiden Bereiche als auch die didaktischen Grundlagen wurden bereits besprochen, so dass die Mehrheit der benötigten Informationen vorliegt und für den Entwurf des didaktischen Konzeptes ein „Bottom up“-Ansatz verwendet wird.

5.2.1 Didaktisches Konzept

In der Anforderungsanalyse wurde bereits dargestellt, dass sich die Kombination aus *Selbstlernkonzept* und *explorativem System* sowie *tutorieller Unterstützung* am besten für eine didaktische Basis des LIVERSURGERYTRAINER eignet.

Für die adäquate Vermittlung komplexer Zusammenhänge in der Leberchirurgie wird eine *Simulationskomponente* auf Basis eines explorativen Konzeptes verwendet. Sie kann Fälle simulieren und gibt dem Lernenden die Möglichkeit, therapeutische Entscheidungen ohne Konsequenzen für die Praxis zu treffen.

Da die inhaltlichen Zusammenhänge oft das Verständnis von komplexen räumlichen Beziehungen (z.B. Abstand zwischen Tumor und Gefäß) voraussetzen, wird die Simulationskomponente als eine *3D-Umgebung* entworfen. Durch die frei rotierbaren *3D-Modelle* kann die räumliche Komplexität gut vermittelt werden, und die Orientierung ist gewährleistet. Dabei können die patientenindividuellen Daten durch die freie *Exploration* untersucht werden. Dies ist insbesondere für die Therapieplanung wichtig, weil dort das räumliche Verständnis über die Lagebeziehungen von Strukturen (z.B. bei der Definition einer räumlich komplexen Resektionsfläche) wesentlich ist. Die *3D-Umgebung* unterstützt zusätzlich das eigenständige Lernen. Somit ist die Möglichkeit der Erarbeitung von eigenen Handlungsstrategien gegeben.

Trotz der großen Bedeutung eines Selbstlern- und Explorationskonzeptes, gibt es zusätzlich tutorielle Hilfen, die den Anwender während des Lernprozesses unterstützen. Wichtige Hilfen sind dabei angepasste Strukturen, die den Zugang zum Lerninhalt erleichtern und fördern, wie beispielsweise eine *Fallauswahl* oder ein *Navigationsmenü*. Diese können die Steuerung des Informationsangebotes einerseits schnell und flexibel, andererseits auch zielgerichtet anbieten.

5.2.2 Interne Struktur

Der LIVERSURGERYTRAINER besteht aus verschiedenen Lernmodulen, die sowohl in linearer und hierarchischer als auch vernetzter Beziehung zueinander stehen. Abbildung 5.6 verdeutlicht die oberste Lernmodulebene, die das „Lehrbuch“ und die *Fallbearbeitung* unterscheidet. Eine externe Falldatenbank beinhaltet alle fallspezifischen Daten und stellt diese nach der Auswahl konkreter Fälle (*Fallauswahl*) dem *Fallablauf* zur Verfügung.

Die Module sind nicht strikt voneinander getrennt zu sehen, da zum Beispiel die Inhalte des „Lehrbuches“ bei Bedarf in den Fallablauf eingebunden werden können. Im Folgenden werden

die Module *Lehrbuch*, *Fallauswahl* und *Fallablauf* und deren weitere inhaltliche Struktur näher vorgestellt. Die *Falldatenbank* dient ausschließlich der Speicherung der Falldaten und wird im Rahmen dieser Arbeit nicht näher beschrieben.

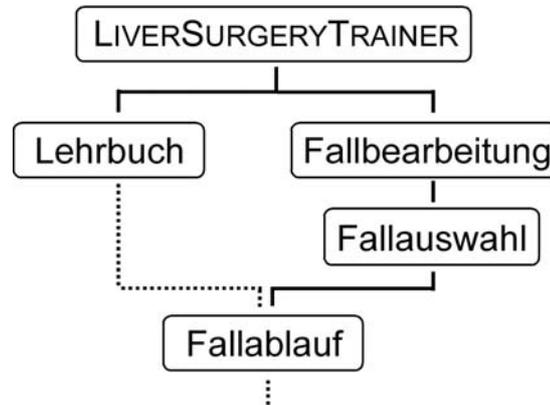


Abbildung 5.6: Oberste Strukturebene des LIVERSURGERYTRAINER.

5.2.3 Das „Lehrbuch“ des LIVERSURGERYTRAINER

Für das Erreichen der Lernziele ist ein komplexes Vorwissen (chirurgisches Fachwissen) notwendig, welches der Lernende mitbringt oder sich mit Hilfe des „Lehrbuches“ aneignen kann. Die Informationen, die das „Lehrbuch“ enthält, sind in der gesamten Anwendung verfügbar und werden zusätzlich zur Motivation des Lernenden eingesetzt. Dabei müssen die besonderen Anforderungen an den Text in computergestützten Lernsystemen (z.B. Lesbarkeit oder Modularisierbarkeit) beachtet werden. So sind, gegenüber klassischen Lehrbüchern, z.B. im „Lehrbuch“ des LIVERSURGERYTRAINER nur kurze Textabschnitte in nicht linearer Struktur gespeichert, die durch Interaktionen aufgerufen werden.

Den Lerninhalten entsprechend gibt es zwei Hauptgebiete – die *Leber* und die *Chirurgie*. Aus diesen Gebieten sind die verschiedenen inhaltlichen Module für das Lehrbuch aufgestellt, die in Abbildung 5.7 skizziert sind. Zusätzlich gibt es ein Modul zur *Historie der Leberchirurgie*, welches wichtige Ereignisse und Informationen aus der Vergangenheit bereitstellt.

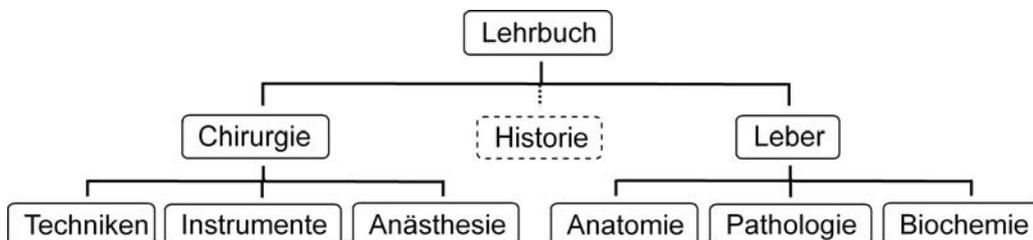


Abbildung 5.7: Inhaltliche Struktur des „Lehrbuches“

5.2.4 Die Fallbearbeitung

Die Fallbearbeitung beinhaltet die Module *Fallauswahl* und *Fallablauf*, die linear aufeinander folgen. Die Fallauswahl und ihr Entwurf werden im Abschnitt 5.3.1 erörtert. Im Folgenden geht es vorrangig um den Fallablauf.

Der Fallablauf

Für die Nutzung im LIVERSURGERYTRAINER wurde eine verbindliche Fallablaufstruktur, auf der Grundlage von Diskussionen mit dem klinischen Partner, entwickelt. Sie umfasst die in Abbildung 5.8 skizzierten Schritte. Die einzelnen Schritte sollten in der logischen Reihenfolge (Untersuchungen vor Diagnose u.ä.) abgearbeitet werden, obwohl es ebenso möglich ist, Schritte zu überspringen. Die Schritte zur Diagnostik und Operationsdurchführung werden hauptsächlich präsentiert, da dort keine Therapieentscheidung und Therapieplanung notwendig sind. Trotzdem sind sie für die authentische Bearbeitung eines Falles und als Kontextinformation für die eigentlichen Lernaufgaben wichtig. Für eine nähere Beschreibung der einzelnen Schritte und deren Bedeutung wird auf den Abschnitt 2.3 verwiesen.

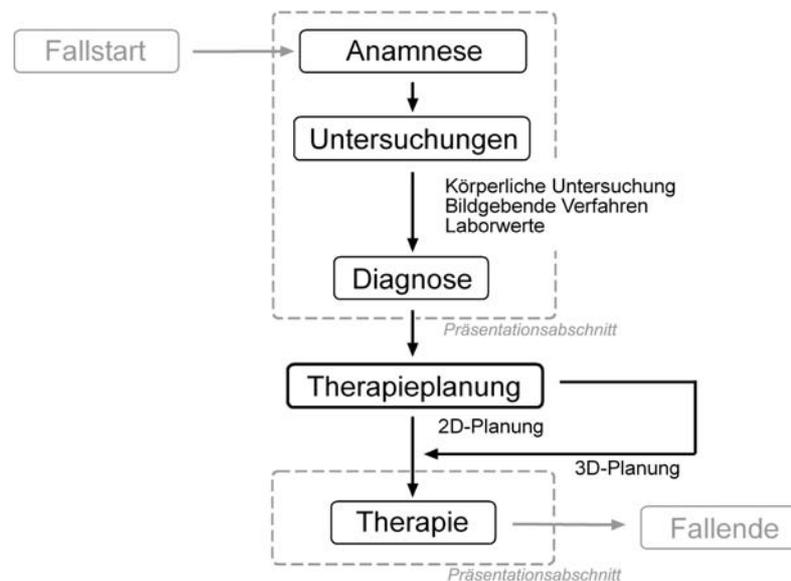


Abbildung 5.8: Fallablaufschemata im LIVERSURGERYTRAINER.

Durch die Definition einer detaillierten Lernzielarchitektur lassen sich die Lerninhalte neben der thematischen Gliederung durch eine Fallablaufstruktur auch didaktisch nach Priorität und Zusammenhang ordnen. Dazu werden Lernbausteine wie *Lerneinheiten* und *Lernschritte* verwendet, wobei die Lerneinheiten auf Basis der Grobziele zusammengestellt werden und Lernschritte die Umsetzung der untergeordneten Feinziele beinhalten. Im Folgenden wird die Fallablaufstruktur anhand des Lernschrittes „Resektabilität“ verdeutlicht (siehe auch Abbildung 5.9).

Die Lerneinheit „Resektabilität“

Die Lerneinheit „Resektabilität“ (Grobziel: Einschätzen, ob die Erkrankung resektabel ist) umfasst die nachstehenden Lernschritte:

- Tumorsicherheitsrand
Feinziel: Entscheiden, wie viele und welche Gefäße von der Erkrankung infiltriert sind und ob der minimale Sicherheitsrand eingehalten werden kann.
- Resektionslinie
Feinziel: Die Resektionslinie (-ebene) definieren.
- Betroffene Segmente
Feinziel: Feststellen, welche Segmente durch eine Resektion von der Blutversorgung abgeschnitten werden.
- Restvolumen
Feinziel: Feststellen, ob bei einer möglichen Resektion ausreichend Parenchym für die Regeneration verbleiben würde.

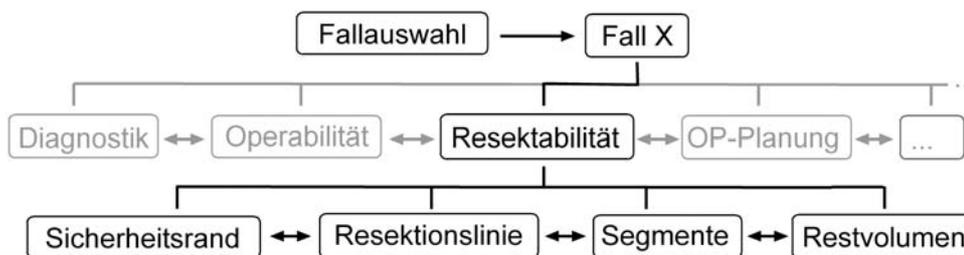


Abbildung 5.9: Didaktische Struktur der Lerneinheit „Resektabilität“.

Anhand von Flussdiagrammen wird der Ablauf der einzelnen Lernschritte geplant. So wird überprüft, ob die Feinziele erreicht werden können. Abbildung A.2 im Anhang verdeutlicht schematisch, mit welchem Ablauf und mit welchen didaktischen Methoden die ersten beiden Feinziele der Lerneinheit „Resektabilität“ erreicht werden sollen.

5.2.5 Layoutentwurf

Bei der Vermittlung von Wissen ist eine klare und übersichtliche Gestaltung der Benutzungsoberfläche wesentlich. Diese ist im LIVERSURGERYTRAINER in drei Hauptbereiche unterteilt – in einen *Bereich für Navigation und globale Funktionen* (Navigationsbereich), in einen *Lernbereich* und in einen *Bereich für den Lerndialog und die Lernhilfen*. Die Raumaufteilung und die Bereiche sind in Abbildung 5.10 skizziert.

Der Lernbereich ist das zentrale Element bei der interaktiven Wissensvermittlung und ist somit zentral positioniert. Die Präsentation der Lerninhalte ist oft komplex und wird durch verschiedene Medien unterstützt. Aufgrund dieser Tatsache nimmt der Lernbereich die größte Fläche in

Anspruch.

Um dem Lernenden die Möglichkeit zu geben, an jeder Stelle des Fallablaufes auf die Navigation zuzugreifen, ist sie oberhalb des Lernbereiches über die gesamte Breite des Bildschirms platziert. Somit können alle Behandlungseinheiten im Navigationsmenü nebeneinander dargestellt werden. Zusätzlich sind dort auch die globalen Funktionen (neue Fallwahl, Beenden des Lernprogrammes, usw.) zu finden, die somit immer einfach zu erreichen sind. Bei der Bearbeitung eines Falles wird Hilfe in Form von Feedback und das Aufrufen von Lernhilfen notwendig sein. Dazu gibt es unterhalb des Lernbereiches, immer sichtbar und zugänglich, ein Areal mit diesen Funktionen. Die bevorzugte Elementform ist das Rechteck. Durch die konsequente Verwendung und sinnvolle Anordnung wird der begrenzte Platz möglichst gut genutzt.

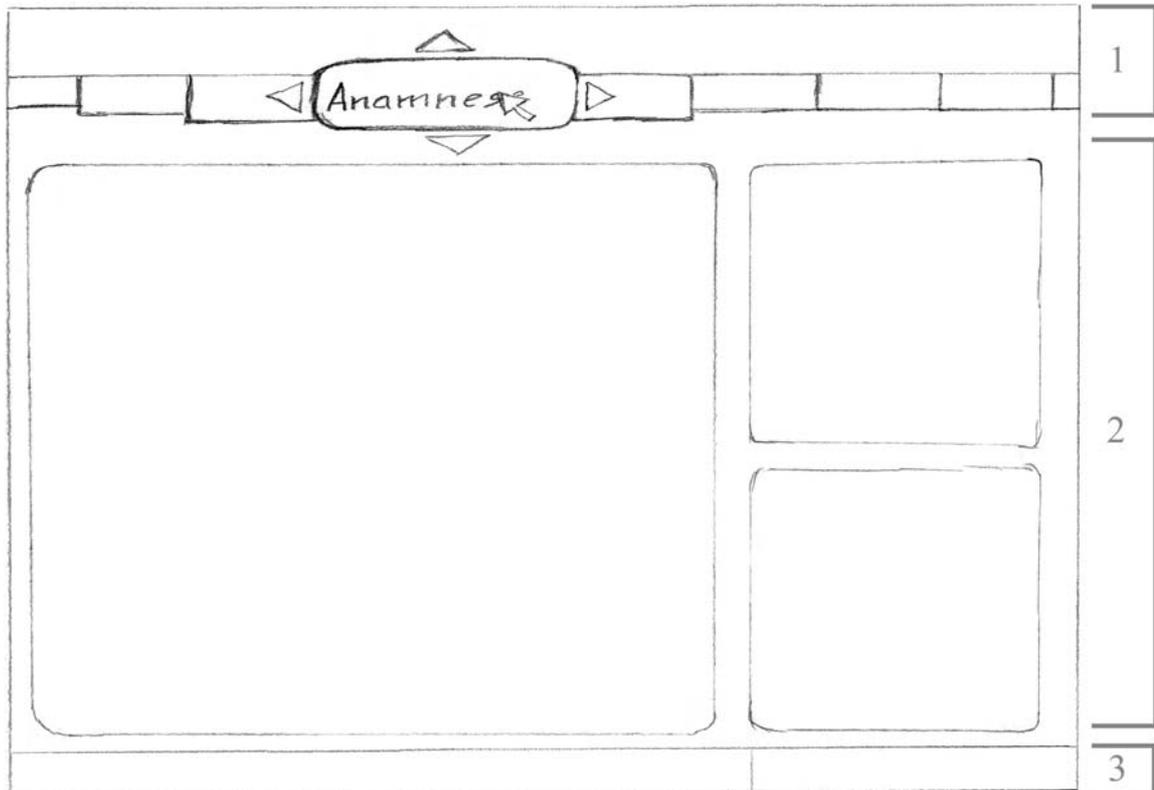


Abbildung 5.10: Raumaufteilungskonzept des LIVERSURGERYTRAINER. Die Benutzeroberfläche ist aufgeteilt in einen Navigationsbereich (1), einen Lernbereich (2) und in einen Bereich für den Lerndialog und die Lernhilfen (3).

5.3 Interaktionsformen

Wichtige interaktive Elemente des LIVERSURGERYTRAINER sind die *Fallauswahl* und das *Navigationsmenü*. Sie stellen den Zugang zu den Lernfällen mit den darin enthaltenen Informationen bereit. Entsprechend der *Anforderung (6)* (Kapitel 4, Seite 35) muss der Auswahlprozess sowohl für die Fälle als auch für die gesuchte Lern- bzw. Informationseinheit schnell, flexibel und zielgerichtet möglich sein.

5.3.1 Fallauswahl

Die bisher verwendeten Methoden der Fallauswahl in fallbasierten Lernsystemen sind für die Anforderungen des LIVERSURGERYTRAINER unzureichend. Ihnen ist gemein, dass entweder ein konkreter Fall sofort auszuwählen ist (z.B. durch eine einfache Liste, siehe Abbildung 5.11(a)) oder die Suche durch eine Tabelle oder eine Suchmaske zuvor eingeschränkt wird (siehe Abbildung 5.11(b)). Als Ergebnis wird eine Liste oder die Anzahl der aktuell ausgewählten Fälle angeboten. Dabei treten hauptsächlich zwei Probleme auf.

Erstens ist – durch die Verwendung einer einfachen Liste oder Zahl – die Charakteristik der einzelnen Fälle in der aktuellen Auswahl nicht zu erschließen. Bei der weiteren Eingrenzung der Fälle kann nicht gezielt anhand der Ausprägungen der Fälle vorgegangen werden. Zweitens ist keines der Konzepte in der Lage, die Relationen des aktuellen Suchergebnisses im Kontext aller Fälle der Datenbank abzubilden. So sind die ausgewählten Fälle nur isoliert einzuschätzen und „global“ nicht vergleichbar. Es kann also die Charakteristik und eventuell bessere Eignung der restlichen Fälle zur aktuellen Auswahl nicht verglichen werden.



Abbildung 5.11: Konventionelle Konzepte der Fallauswahl. (a) Fallauswahl durch die Auflistung der Fälle², (b) Fallauswahl mittels der Kombination verschiedener Merkmale und zusätzlicher Fallinformation [HENDRIKS et al., 2004].

Konzept der „Parallelen Koordinaten“

Ein Konzept, welches die Anforderungen des LIVERSURGERYTRAINER graphisch unterstützt, ist die Repräsentation aller Fälle mit Hilfe von „Parallelen Koordinaten“ (vgl. [INSELBERG, 1985]). Diese Technik kommt ursprünglich aus der Informationsvisualisierung (vgl. [HAUSER et al., 2002]), wo oft mehrere tausend mehrdimensionale Daten (Fälle) visualisiert werden müssen.

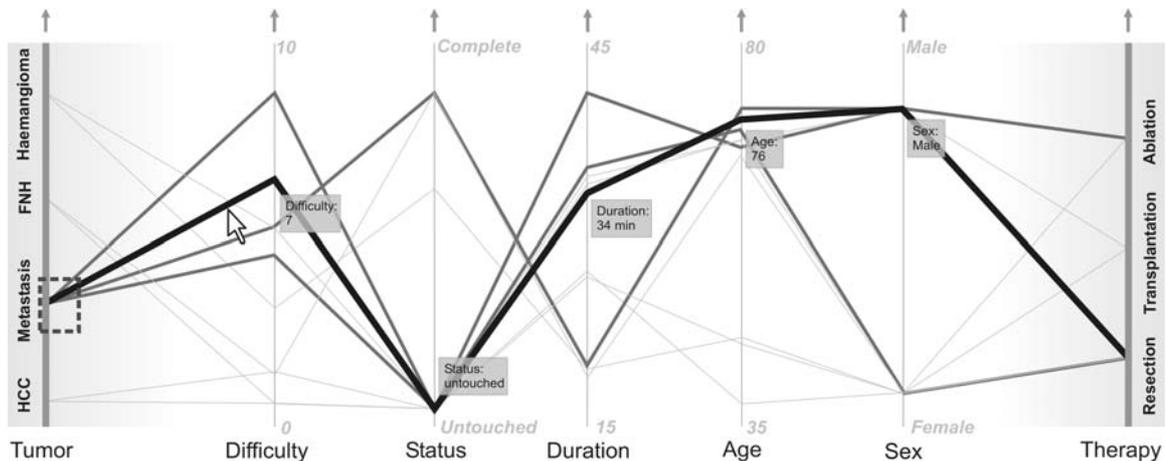


Abbildung 5.12: Entwurf der Fallauswahl mit Hilfe von „Parallelen Koordinaten“, entnommen aus [BADE et al., 2004b].

Hierbei wird die gesamte Falldatenbank mit den unterschiedlichen Ausprägungen der Fälle auf Achsen der verschiedenen Such- und Fallkategorien abgetragen. Ein Fall wird durch einen Linienzug, der die verschiedenen Achsen an unterschiedlichen Stellen schneidet, repräsentiert (siehe Abbildung 5.12). Die Auswahl eines Falles erfolgt durch Selektion einer oder mehrerer solcher Linien, oder auch durch die Definition (Aufziehen) eines Auswahlfensters auf den Achsen (vgl. [BADE et al., 2004b]). Es ist ebenso möglich, die Auswahl rückgängig zu machen oder mehrere Auswahloperationen miteinander zu verknüpfen.

Kategorien eines Falles

Jeder Fall beinhaltet individuelle, für das Lernsystem repräsentative Informationen, die ihm eine charakteristische Ausprägung verleihen. Diese Charakteristik kann durch eine Anzahl von Kategorien (den so genannten Suchkriterien) annähernd beschrieben werden. Ganz allgemein können die Kategorien in *inhaltliche* (den Inhalt betreffende) und *lernbasierte* (das Lernen betreffende) Kategorien eingeteilt werden. Tabelle 5.1 gibt einen Überblick über die konkreten Kategorien, die als Such- und Fallkriterien dienen.

Insbesondere die Fragestellungen nach der Art der Therapie und der Erkrankung sind als Suchkriterium relevant. Beide Kategorien sind an den Seiten der Fallauswahl positioniert, um deren Bedeutsamkeit hervorzuheben (siehe Abbildung 5.12).

Inhaltliche Kategorien	Lernbasierte Kategorien
Therapietechnik	Schwierigkeitsgrad
Erkrankung	Bearbeitungsdauer
Alter des Patienten	Bearbeitungsstatus
Geschlecht des Patienten	

Tabelle 5.1: Kategorien, die die Charakteristik eines Falles beschreiben.

Die Fallauswahl dient ausschließlich der Selektion von Fällen. Die Informationen, die ein Fall beinhaltet, werden durch eine weitere Interaktionsstruktur, das Navigationsmenü, zugänglich gemacht.

5.3.2 Navigationsmenü

Das Navigationsmenü erlaubt den Zugriff auf die Lerninhalte des aktuellen Falles. Hinsichtlich des begrenzten Platzangebotes auf dem Bildschirm dient das Navigationsmenü gleichzeitig als Hilfe zur inhaltlichen und lernzentrierten Orientierung.

Struktur

Das Menü orientiert sich an den oben genannten Anforderungen und der allgemeinen Struktur eines Falles. In Abbildung 5.13(a) ist ein Entwurf des Navigationsmenüs skizziert, der die lineare Abfolge der Behandlungseinheiten zeigt. Dadurch ist eine nahezu authentische Abarbeitung des Patientenfalles gewährleistet (ähnlich der Navigation in [MUTTER und MARESCAUX, 2003], siehe Abbildung 4.3(b), Seite 39).

Die Lerneinheiten können in vorgegebener oder beliebiger Reihenfolge gewählt werden. Bei der Wahl einer Lerneinheit (Behandlungseinheit) erfolgt die Einblendung aller enthaltenen Lernschritte (Behandlungsschritte), wie in Abbildung 5.13(b) skizziert. Durch die Hierarchie des Navigationsmenüs ist der Zugang zu allen Lerninhalten schnell und übersichtlich möglich.

Fisheye-Technik

Für die zielgerichtete und eindeutige Auswahl der Lerninhalte ist das Einblenden von Zusatzinformationen (z.B. die Anzahl der Lerneinheiten) notwendig. Techniken, die diese Forderung erfüllen (z.B. Popup-Menüs), haben den Nachteil, dass die Zusatzinformationen entweder in einem zweiten Fenster sichtbar sind oder wichtige Bildschirmbereiche verdecken und somit der visuelle Zusammenhang zum Kontext verloren geht.

Eine Methode, die die Anforderungen an eine eindeutige Auswahl erfüllt, ist die *Fisheye-Technik* ([FURNAS, 1986], [BEDERSON, 2000]). Dabei wird abhängig von der Interaktion des

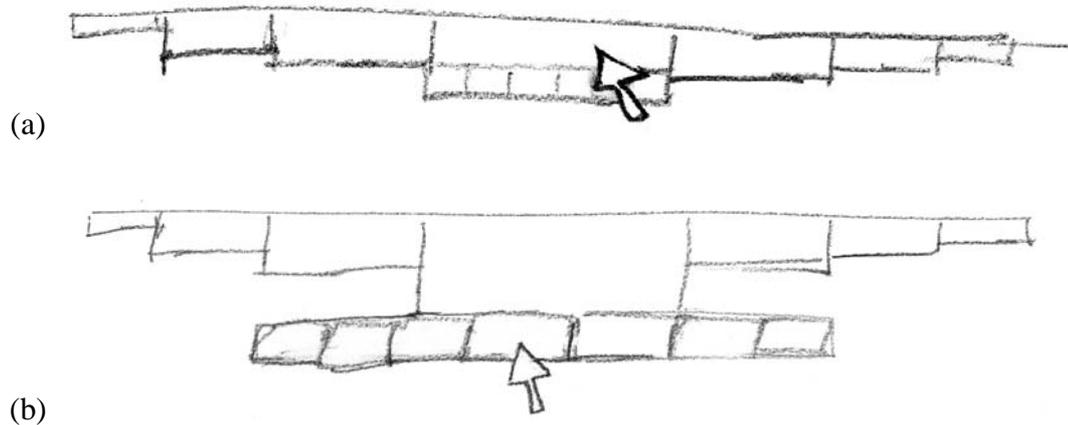


Abbildung 5.13: Skizzen des Navigationsmenüs. (a) Fokussierung einer Lerneinheit innerhalb der Fallbearbeitung, (b) Auswahl eines Lernschrittes.

Lernenden und dem Kontext ein Menü-Element vergrößert (Zuteilung von mehr Bildschirmfläche) und somit hervorgehoben. Zusätzlich können im vergrößerten Element weitere Informationen über die enthaltenen Lernschritte angezeigt werden. Die anderen Menü-Elemente werden verkleinert und treten in den Hintergrund (siehe Abbildung 5.13(a)).

Durch das entworfene Navigationsmenü wird die Fallstruktur übersichtlich und leicht erfassbar präsentiert und das Arbeiten mit einem Fall vereinfacht und schnell durchgeführt. Durch die Verwendung von *Fisheye*-Techniken ist das Menü in der Lage, zusätzliche Informationen über Lernschritte anzuzeigen. Die flexible Navigation ermöglicht es weiterhin, den Lernprozess selbst zu steuern und eigene Entscheidungen hinsichtlich der Therapieplanung zu treffen. Somit können eigene Handlungsstrategien gefördert werden.

5.4 Visualisierungsaufgaben

In den folgenden Abschnitten werden die Aufgaben erläutert, die sich bei der Visualisierung für die fallbasierte Chirurgieausbildung ergeben. Dabei ist auf die folgenden Grundprobleme zu achten.

- **Artefaktbehaftete Visualisierung.** Infolge von Bildrauschen, Partialvolumeneffekten oder der begrenzten Auflösung der bildgebenden Verfahren kommt es bei der Aufnahme und Analyse (siehe Abbildung 5.4, Seite 45) zu artefaktbehafteten Falldaten. Auf der Grundlage dieser (fehlerhaften) Daten können Visualisierungen entstehen, die für die didaktischen Lernziele ungeeignet sind.
- **Hohe Komplexität.** Die Strukturen der Leber und ihrer benachbarten Organe sind im Allgemeinen sehr komplex (vgl. Abschnitt 2.1.4) und werden zusätzlich in komplizierten Lernzusammenhängen vermittelt. Für einige didaktische Fragestellungen müssen des-

halb die Strukturen oder Zusammenhänge abstrahiert werden, um eine erfolgreiche Vermittlung des Lerninhaltes zu gewährleisten. Auch unnötigen Informationen, die bei der artefaktbehafteten Vorverarbeitung entstehen, müssen für eine hinreichend authentische Visualisierung bearbeitet werden.

Nicht situationsgerechte Visualisierung. Die Parameter für die Visualisierung können für die aktuelle Situation, in der sie eingesetzt werden, didaktisch nicht zweckmäßig sein. Die Strukturen müssen demnach situationsbezogen visualisiert (hervorgehoben) werden.

5.4.1 Authentische Darstellung anatomischer und pathologischer Strukturen

Für Lernaufgaben im LIVERSURGERYTRAINER sind insbesondere *Gefäße* und die pathologischen Strukturen (*Tumore*) relevant. Diese Strukturen werden möglichst ohne unnötige visuelle Informationen (Artefakte, störende Details) dargestellt, um so eine für den Lernenden annähernd authentische Wahrnehmung zu schaffen, in der er sich mit möglichst wenig Einarbeitungszeit zurechtfindet. An den beiden genannten Beispielstrukturen wird im Folgenden verdeutlicht, wie die Visualisierung nach didaktischen Gesichtspunkten vorgenommen wird.

Gefäße

Die organisch wirkende Visualisierung von Gefäßen ist für eine gute Vermittlung von leberspezifischen Lerninhalten wichtig. Bei traditionellen Verfahren, wie dem *Isosurface-Rendering* kommt es aufgrund der artefaktbehafteten Vorverarbeitung oft zu einer unnatürlichen oder teilweise sogar scheinbar krankhaften Gefäßdarstellung (siehe Abbildung 5.14(a)), die von der eigentlichen Lernaufgabe ablenken kann (störende Strukturen, Fehlinterpretationen).

Eine verbesserte Gefäßvisualisierung stellt die Methode nach [HAHN et al., 2001] dar. Hier werden Kegelstümpfe verwendet, um den Verlauf und den Durchmesser der Gefäße zu approximieren (Abbildung 5.14(b)). Durch den Einsatz von Kegelstümpfen treten an den Gefäßverzweigungen Kanten auf, die die Visualisierung zusätzlich komplex machen.

Eine weitere Verbesserung wird durch die Methode von [OELTZE und PREIM, 2004] erreicht. Im Gegensatz zu dem Einsatz von Kegelstümpfen werden hier *Convolution Surfaces* verwendet. Damit lassen sich Gefäßverzweigungen und -enden organisch korrekt darstellen (Abbildung 5.14(c)). Ein weiterer Vorteil, der für die Verwendung der Methode im LIVERSURGERYTRAINER spricht, ist die flexible Visualisierung nach unterschiedlichen Fragestellungen. Da die Methode auf der Skelettierung von Gefäßen beruht, können Fragestellungen, die vom Durchmesser oder von Teilbäumen abhängig sind, für den LIVERSURGERYTRAINER schnell visuell umgesetzt werden.

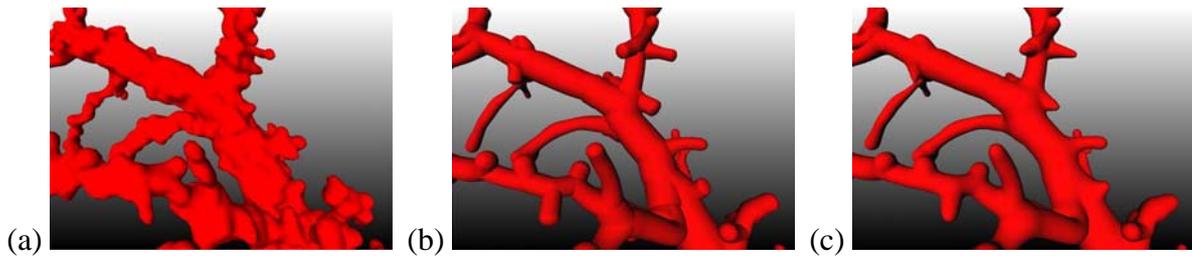


Abbildung 5.14: Gefäßvisualisierung mit unterschiedlichen Methoden. (a) Isosurface, (b) Kegelstümpfe nach [HAHN et al., 2001], (c) Convolution Surface nach [OELTZE und PREIM, 2004].

Tumor

Infolge der Auflösungsbeschränkung bei der Bildaufnahme kommt es zu einer artefaktbehafteten Visualisierung der Tumoren (siehe Abbildung 5.15). Das Aussehen, die Größe und die Ausdehnung von Tumoren sind aber in fast jeder Fragestellung relevant. Tumore müssen deshalb authentisch abgebildet werden.

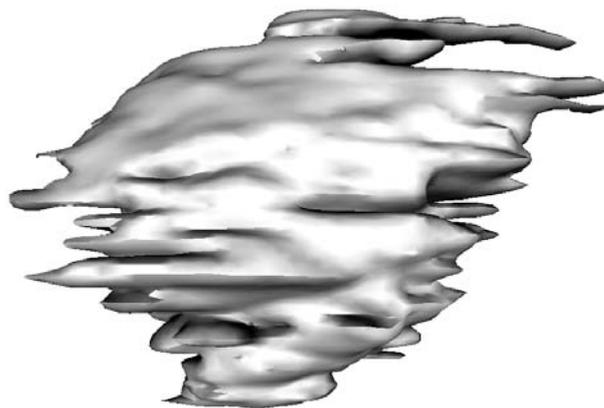


Abbildung 5.15: Artefaktbehaftete Visualisierung eines Tumors aufgrund der Auflösungsbeschränkung bei der Bildaufnahme.

Für die authentische Visualisierung von Tumoren sind zwei Ansätze geeignet – die Änderung der Tumorgestalt (*Isosurface*) auf Grundlage der *Volumendaten* oder die Modifizierung der *Geometriedaten* (*Polygonnetz*) des Tumormodells. Da die Volumendaten die Originaldaten darstellen und somit „unverfälscht“ sind (siehe Abbildung 5.16(a)), wird dieser Ansatz im Weiteren besprochen.

Bei der Änderung der Volumendaten wird die Tumorgestalt vereinfacht und somit die spätere Visualisierung modifiziert. Die Operatoren, die dazu verwendet werden, haben im Allgemeinen die Eigenschaft, das Tumolvolumen zu verringern. Dies ist für die Therapieplanung nicht akzeptabel, weil dadurch mögliche randnahe Tumorzellen nicht berücksichtigt werden. Eine durchweg gering vergrößerte Darstellung des Tumors ist dagegen zweckmäßig.

Daher wird als erster Schritt eine Vergrößerung des Tumorumfangs durchgeführt. Nachfolgend wird eine Tumorvereinfachung mit Hilfe von „Glättungsoperatoren“ angewandt. Dadurch werden störende Details und Unregelmäßigkeiten beseitigt (siehe Abbildung 5.16(b)). Mit dieser Methode ist eine authentische Visualisierung der Strukturen möglich. Somit wird der Lernprozess durch fehlerhafte und unnatürlich komplexe Visualisierungen kaum gestört.

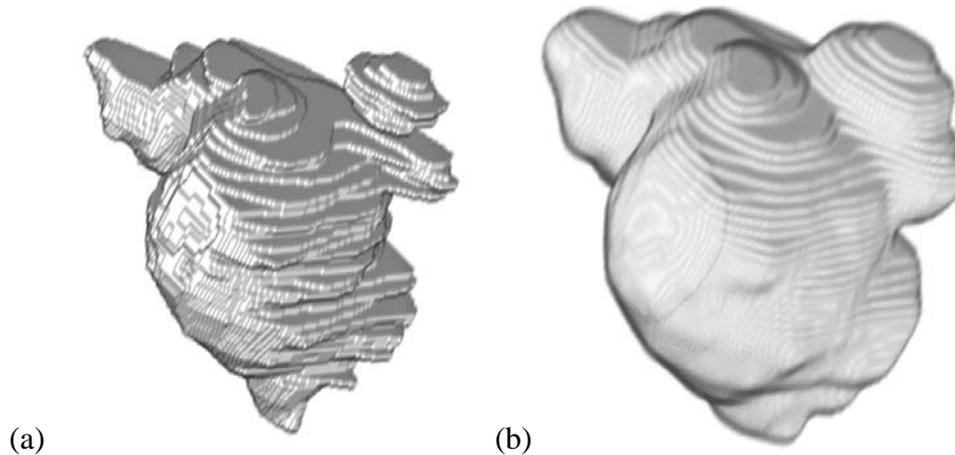


Abbildung 5.16: Tumorvisualisierung mittels Volumen-Rendering. (a) Visualisierung der Originaldaten des Tumors mit Artefakten, (b) Glättung der Tumorgestalt.

Die erste Methode zur Visualisierung von Gefäßen ist wegen ihrer speziellen Bedingungen (Skelett, Convolution Surface) nur für diese Strukturen geeignet. Die zweite Methode stellt einen allgemeineren Ansatz dar. Sie kann nicht nur für Tumore verwendet werden, sondern auch für andere Strukturen wie Knochen oder Galle. Dabei ist darauf zu achten, dass die Operatoren die Ausdehnung der Struktur verändern. Dies ist nicht bei allen Strukturen erwünscht.

Eine authentische Visualisierung führt nicht immer zu guten Lernergebnissen. Oft kann der Lerninhalt durch eine schematische oder abstrahierte Visualisierung genauso gut oder sogar besser vermittelt werden.

5.4.2 Nicht-Photorealistische Visualisierung

Eine wichtige Rolle bei der gezielten und aufmerksamkeitsgelenkten Vermittlung von Lerninhalten im LIVERSURGERYTRAINER spielen nicht-photorealistische Techniken (*NPR*), da sie in der Lage sind, Strukturen gezielt zu abstrahieren und als Kontext darzustellen. Dadurch ist eine effektivere Vermittlung von kommunikativen Inhalten möglich (vgl. [STROTHOTTE und SCHLECHTWEG, 2002]). *NPR*-Techniken sind in medizinischen Lehrmaterialien schon lange verbreitet und üblich (siehe Abbildungen 5.17(a)–(c)). Diese werden in der Computergraphik durch geeignete Methoden (*Silhouetten*, *Hatching*, *Stippling*) nachgebildet. Die *NPR*-Techniken sind besonders bei der situationsgerechten Visualisierung und Hervorhebung von Bedeutung.

Für weitere Diskussionen und nähere Betrachtungen über den Einsatz von *NPR*-Techniken wird auf die Literatur von [STROTHOTTE und SCHLECHTWEG, 2002] verwiesen. Eine Untersuchung zum Einsatz von *NPR*-Techniken speziell in medizinischen Visualisierungen findet sich in [TIETJEN, 2004].

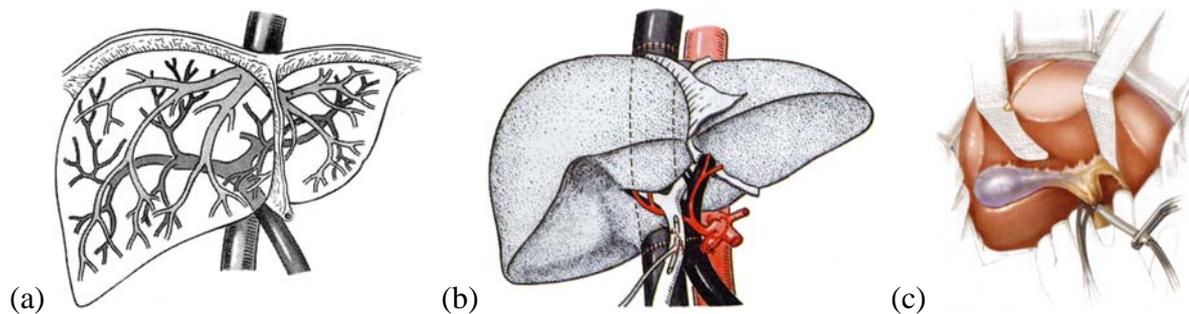


Abbildung 5.17: Beispiele für *NPR*-Techniken in medizinischen Lehrmaterialien. (a) Verwendung von Silhouetten für Leber und Hatching für Gefäße, entnommen aus [SCHUMPELICK et al., 2004], (b) Verwendung von Stippling für Leber, entnommen aus [SCHUMPELICK et al., 2004] (c) Verwendung von Hatching-Techniken für die Kontextdarstellung, entnommen aus [KÖCKERLING und WACLAWICZEK, 1999].

5.4.3 Hervorhebungstechniken

Bei der Wissensvermittlung spielt die Aufmerksamkeitslenkung des Lernenden innerhalb der komplexen visuellen Lerninhalte eine zentrale Rolle. Ein wichtiges Hilfsmittel sind Hervorhebungstechniken, denn sie sind in der Lage, Strukturen in den Fokus oder Kontext zu platzieren und helfen somit, diese schneller und genauer lokalisieren und identifizieren zu können (vgl. [BADE et al., 2004a]).

Bei den Hervorhebungen werden, je nach Zielstellung, verschiedene Parameter eines Objektes verändert und somit dessen Aussehen modifiziert. Abhängig vom Einflussbereich der Hervorhebung können lokale, regionale und globale Techniken unterschieden werden (vgl. [PREIM und RITTER, 2002]).

Im LIVERSURGERYTRAINER werden klassische Hervorhebungstechniken wie Farbe, Kontrast und Transparenz (siehe Abbildung 5.18(a)) sowie zusätzlich auch *NPR*-Techniken eingesetzt. Ein Schwerpunkt der Visualisierung im LIVERSURGERYTRAINER ist die Kombination von klassischen und *NPR*-Hervorhebungstechniken (siehe Abbildung 5.18(b)). Das im Folgenden beschriebene Beispiel verdeutlicht die bei Hervorhebungen in komplexen *3D*-Szenen auftretenden Probleme und die Vorteile der Kombination beider Techniken.

Beispielszenario

In medizinischen *3D*-Szenen befinden sich Strukturen häufig voreinander oder ineinander, so dass die Sichtbarkeit von Objekten nicht immer gewährleistet ist. Durch die partielle oder kom-

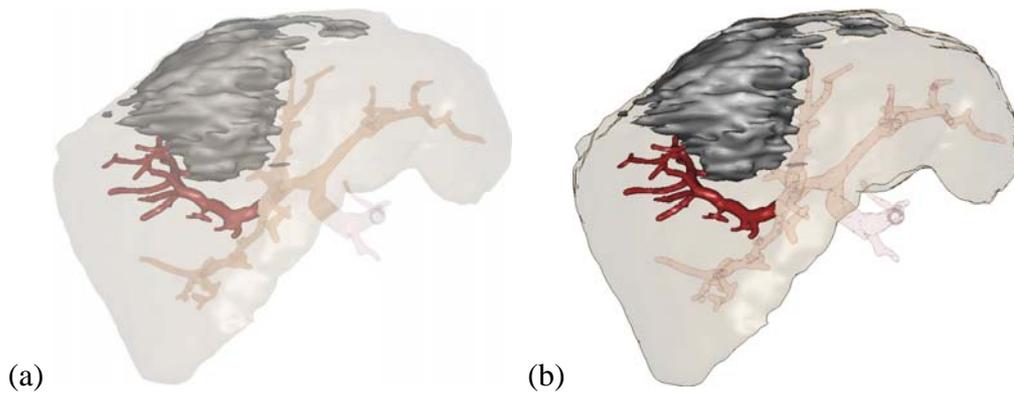


Abbildung 5.18: Vergleich der klassischen und kombinierten Hervorhebungstechniken. (a) Hervorhebung intrahepatischer Strukturen, indem die Leberoberfläche transparent dargestellt wird, (b) Kombinierte Hervorhebung intrahepatischer Strukturen mit Silhouetten und veränderter Tiefensortierung der Objekte.

plette Verdeckung können wichtige Relationen wie Lagebeziehungen und Größenverhältnisse zwischen Strukturen oder der Verlauf dieser schwer eingeschätzt werden (vgl. [BADE et al., 2004a]).

In Abbildung 5.19(a) wird die Leber durch benachbarte Strukturen (Rippenbogen, Lungenflügel) partiell verdeckt. Für die Hervorhebung der Leberform durch die ausschließliche Verwendung von klassischen Techniken (z.B. Transparenz) kann zwar die Form hervorgehoben werden, aber die Lagebeziehungen zwischen den Strukturen sind schlechter einzuschätzen (Abbildung 5.19(b)). Mit dem zusätzlichen Einsatz von *NPR*-Techniken können die Lagebeziehungen der Strukturen, trotz hoher Transparenz, gut beurteilt und gleichzeitig die Sicht auf die Leber freigegeben werden (siehe Abbildung 5.19(c)).

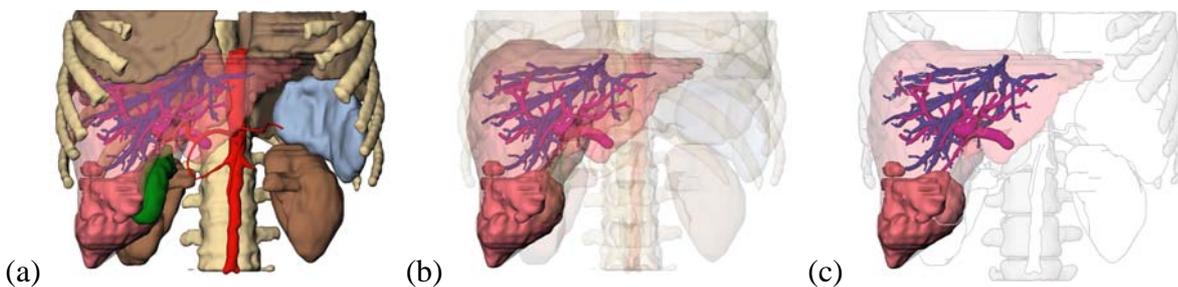


Abbildung 5.19: Einsatz von klassischer und kombinierter Kontextvisualisierung. (a) Klassische Technik mit dem Problem der partiellen Verdeckung der Leber, (b) Klassische Technik mit Transparenz aller Strukturen zur Hervorhebung der Leberform, (c) Kombination von Techniken zur Verbesserung der Darstellung.

Situationsgerechte Hervorhebung

Zur Hervorhebung werden im LIVERSURGERYTRAINER situationsgerechte Techniken eingesetzt, um dem Lernenden eine bestmögliche Visualisierung zu präsentieren. Die Zweckmäßigkeit einer Methode hängt dabei von dem Medium (*medienspezifisch*), von der konkreten Fragestellung (*aufgabenspezifisch*) und von dem darzustellenden Objekt (*objektspezifisch*) ab.

Medienspezifische Hervorhebung. Der LIVERSURGERYTRAINER benutzt für die Vermittlung der Lerninhalte, je nach Eignung, unterschiedliche Medientypen. Das gleiche Visualisierungsziel (z.B. das Hervorheben eines Lebertumors) kann in unterschiedlichen Medien nur durch verschiedene Techniken erreicht werden.

In einem Video kann der Tumor beispielsweise mit Hilfe eines Zeigeeinstruments hervorgehoben werden. In Abbildung 5.20(a) benutzt der Chirurg ein Skalpell, um den Tumor zu umfahren und damit die Aufmerksamkeit des Lernenden zu lenken. In einem statischen CT-Schnittbild sind Techniken, die eine zeitliche Änderung erfordern, ungeeignet. Hier ist die Andeutung der komplexen Form des Tumors, wie in Abbildung 5.20(b) zu sehen, beispielsweise durch Pfeile sinnvoller. In 3D-Visualisierungen ist eine Tumorphvorhebung mittels Silhouetten und Tiefensortierung wie in Abbildung 5.20(c) möglich.

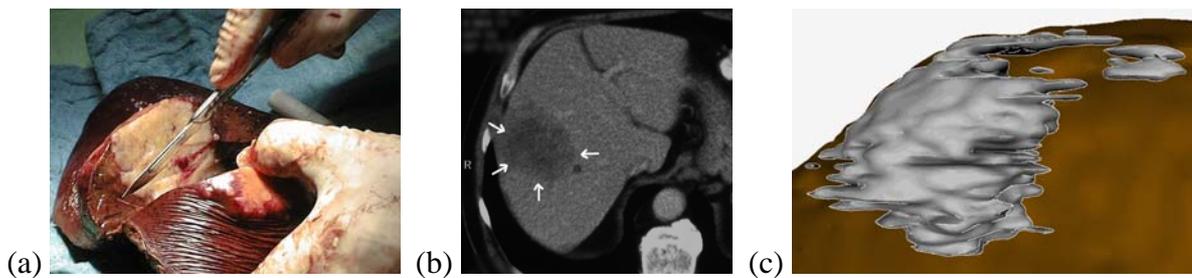


Abbildung 5.20: Hervorhebung eines Lebertumors in verschiedenen Medientypen. (a) Video: Umfahren des Objektes mit einem Zeigegerät (Skalpell), (b) CT-Schnittbild: Hervorhebung durch Pfeile, (c) 3D-Visualisierung: Hervorhebung mittels Objektsilhouetten.

Aufgabenspezifische Hervorhebung. Die Art der Hervorhebung ist zusätzlich von der aktuellen Fragestellung oder Intention der Visualisierung abhängig, die eng mit dem Lernziel verbunden sein kann. Mögliche Kriterien für die Hervorhebung sind die Anzahl der relevanten Objekte oder die Menge der nötigen Kontextinformation.

Abbildung 5.21 zeigt vier verschiedene aufgabenspezifische Visualisierungen der Leber und ihrer inneren Strukturen. Je nach Aufgabenstellung werden Objekte ausgeblendet, transparent gemacht, mit Silhouette gezeichnet oder eingeblendet. Für zusätzliche Informationen und konkrete Beispiele wird auf die Arbeit von [BADE et al., 2004a] verwiesen.

Objektspezifische Hervorhebung. Neben dem Medium und der konkreten Fragestellung ist die aktuelle Hervorhebungstechnik von den Objekten abhängig, die visualisiert werden sollen. Im LIVERSURGERYTRAINER werden hauptsächlich die Leber, ihre intrahepatischen Strukturen und angrenzende extrahepatische Strukturen dargestellt. Diese Objekte unterscheiden sich

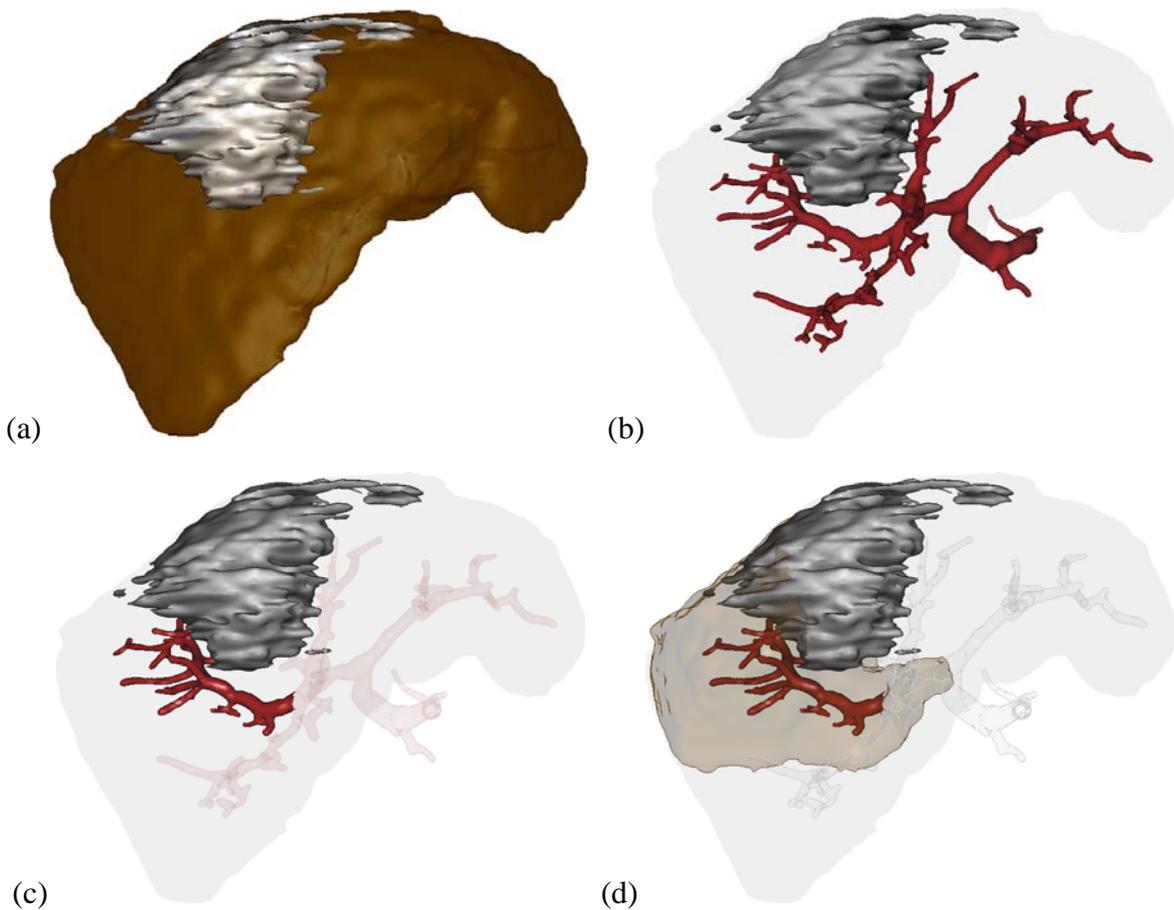


Abbildung 5.21: Aufgabenspezifische Hervorhebungen am Leberbeispiel. (a) Lagebeziehung Leber – Tumor, (b) Lagebeziehung Tumor – Gefäßsystem, (c) Abstand Tumor – Teilgefäßbaum, (d) Zugehörigkeit Teilgefäßbaum – Lebersegment (Versorgungsgebiet).

sehr stark in ihrer Form und Komplexität. Demnach sind für die Art der Hervorhebung die Objektparameter wie Form, Lage, Größe und Ausdehnung ausschlaggebend (vgl. [BADE et al., 2004a]).

In Abbildung 5.22 sind zwei verschiedene Objekte mit Hilfe von *NPR*-Techniken dargestellt. Abbildung 5.22(a) verwendet eine *Hatching*-Technik zur Visualisierung als Kontext. Bei einem Tumor ist eine *Hatching*-Technik zur Kontextvisualisierung nicht angebracht, da der Tumor keinen gerichteten Verlauf aufweist (vgl. [TIETJEN, 2004]). Hier bietet sich die Darstellung unter Verwendung einer *Stippling*-Technik an (siehe Abbildung 5.22(b)).

Durch die Verwendung klassischer Hervorhebungstechniken und deren Erweiterung um *NPR*-Methoden sowie die zusätzliche situationsgerechte Modifikation der Hervorhebung entsteht eine enorme Anzahl an Visualisierungsmöglichkeiten, die durch zahlreiche Parameter definiert werden müssen.

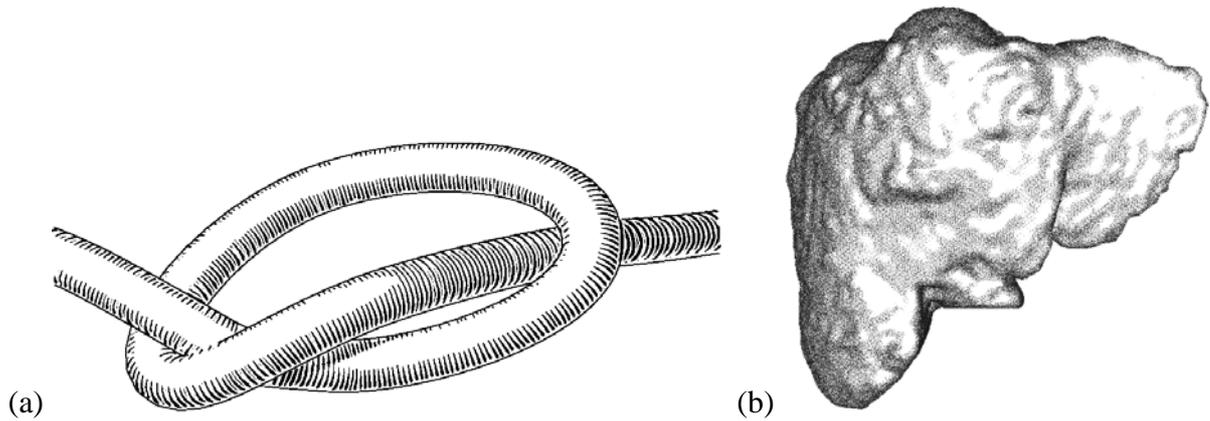


Abbildung 5.22: Objektspezifische Hervorhebung. (a) Hatching zur Unterstützung der Kontextvisualisierung bei einem gefäßähnlichen Objekt [DEUSSEN et al., 1999], (b) Bildbasiertes Stippling einer Leber zur Kontextvisualisierung, erstellt mit der 3D-Engine von Macromedia DIRECTOR.

5.4.4 Steuerung der Visualisierungsparameter

Auf Grund der zahlreichen Visualisierungsmöglichkeiten ist eine standardisierte, adaptive und teilweise automatische Wahl und Steuerung der Parameter erforderlich. Standardisierte Ansichten stellen für die verwendeten Medien, Aufgabenstellungen und Objekte im LIVERSURGERY-TRAINER die Grundlage dar. Mit ihrer Hilfe werden Sets von Visualisierungsparametern automatisch und adaptiv gesteuert.

Bei Bedarf kann die Wahl der Hervorhebungstechniken bzw. der Parameter auch vom Lernenden selbst verändert und so eigene Visualisierungen generiert werden. Durch die Verwendung adaptiver standardisierter Ansichten wird die Konsistenz im LIVERSURGERYTRAINER bei gleichzeitiger Fallspezifität gewahrt. Dadurch werden die Lernenden bei der Bearbeitung der Fälle unterstützt (vgl. [BADE et al., 2004a]). Gleichzeitig ergeben sich dadurch aber auch Rückkopplungen für die Verbesserung des LIVERSURGERYTRAINER, die zu einer noch besseren Abstimmung des Lernsystems auf die Lernenden beitragen.

5.4.5 Standardisierte Ansichten

Standardisierte Ansichten sind vordefinierte Sets von Parametern, die an gleicher semantischer Stelle im Lernprogramm gleichartige Visualisierungen erzeugen (vgl. [BADE et al., 2004a]). Sie dienen wie das „Corporate Design“ durch Bekanntes oder Gemeinsamkeiten als mentale Stütze und helfen die kognitive Überlastung des Lernenden zu vermeiden. Dadurch kann der Lernprozess vereinfacht und beschleunigt werden.

Im LIVERSURGERYTRAINER werden vorerst einige standardisierte Ansichten für bestimmte Medien, Aufgabenstellungen und Objekte eingesetzt. Es wird also ein globaler, einheitlicher Standard definiert, der aber trotzdem durch Adaption an die aktuellen Daten fallspezifisch bleibt

(vgl. [BADE et al., 2004a]). Die beiden nachfolgenden Beispiele werden den Einsatz von standardisierten Ansichten erläutern.

Szenario I. Durch die vielen Freiheitsgrade bei 3D-Visualisierungen sind unendlich viele Blickrichtungen auf die Leber wählbar. Die gewohnte Blickrichtung des Chirurgen auf die Leber ist sowohl im Operationssaal als auch auf Abbildungen in medizinischen Atlanten *ventral*, *ventral-kranial* oder *ventral-kaudal* (siehe Abbildungen 5.17(a)- 5.17(c)). Werden Bilder in einem Lernsystem anschaulich, aber trotzdem in einer für den Chirurgen untypischen Sichtweise (z.B. kaudal-dorsal) wiedergegeben, kann das den Chirurgen erheblich irritieren (vgl. [PRIESCHING, 1986]). Deshalb ist es notwendig, eine globale, für den Chirurgen gewohnte Sichtrichtung auf die Leber festzulegen.

Szenario II. CT-Datensätze sind in der Chirurgie wichtige Hilfsmittel bei der Therapieplanung. Bei der Suche nach einem Tumor wird der komplette CT-Datensatz von der ersten Schicht an durchsucht, bis die entsprechende Struktur gefunden wurde. Zur Erleichterung der Arbeit des Chirurgen kann eine standardisierte Ansicht immer die 2D-CT-Schicht automatisch präsentieren, in der sich der Schwerpunkt des Tumors befindet. Somit hat der Chirurg einen guten Ausgangspunkt für das Durchsuchen der Schichtbilder.

Ähnliche standardisierte Ansichten sind in fast allen Medientypen und Aufgabenstellungen realisierbar.

Realisierung des LIVERSURGERYTRAINER

Dieses Kapitel befasst sich mit der Realisierung des LIVERSURGERYTRAINER auf Grundlage des in Kapitel 5 beschriebenen Entwurfes. Ziel des ersten Abschnittes ist es, ein Entwicklungswerkzeug für den LIVERSURGERYTRAINER zu finden und dessen Wahl zu begründen. Hierzu werden Kriterien für die Wahl aus den Anforderungen und dem Entwurf abgeleitet. Danach folgt eine kurze Einführung in das benutzte Entwicklungswerkzeug.

Der zweite Teil des Kapitels beschäftigt sich mit wichtigen Aspekten der Realisierung. Dabei wird auf die Benutzungsoberfläche und auf verwendete Datenformate eingegangen sowie die Lösung für die authentische Visualisierung am Beispiel des Tumors beschrieben. Im letzten Teil der Arbeit wird anhand einer konkreten Fallbearbeitung das Lernen mit dem LIVERSURGERYTRAINER veranschaulicht und die Integration der verschiedenen interaktiven Komponenten erläutert.

6.1 Entwicklungswerkzeuge

Es existieren zahlreiche Werkzeuge mit denen sich Lernumgebungen erstellen lassen. Diese Werkzeuge sollen den Entwickler eines Lernsystems unterstützen, voneinander unabhängige Informationseinheiten miteinander zu kombinieren. Dabei ist es oft möglich, sowohl räumliche und zeitliche Beziehungen als auch Relationen, die die Interaktion oder Navigation zwischen den Einheiten beschreiben, zu definieren. Je nach Art des Werkzeuges können entweder eine komplette Lernumgebung oder einzelne Inhaltsabschnitte, die später in ein vorhandenes Lernsystem zu übertragen sind, erzeugt werden.

Für die Eingrenzung der verfügbaren Werkzeuge sind nachstehend verschiedene Kriterien aus den Anforderungen und dem Konzept abgeleitet, die bei der Auswahl der Entwicklungswerkzeuge berücksichtigt wurden. Anschließend folgt eine direkte Gegenüberstellung der untersuchten Werkzeuge.

6.1.1 Auswahlkriterien

Im Rahmen dieser Arbeit werden nur solche Vergleichskriterien in Betracht gezogen, die für die Wahl des Entwicklungswerkzeuges relevant sind. Sie lassen sich von den Anforderungen an das Lernsystem ableiten. Auf grundsätzliche und allgemeine Forderungen wird nicht näher eingegangen.

- **Medizinische Daten**

Dem Lernenden werden komplexe Inhalte aus dem Bereich der chirurgischen Medizin vermittelt. Dazu müssen die medizinischen Daten wie CT-Aufnahmen oder histologische Bilddaten (siehe Abschnitt 5.1) didaktisch aufbereitet und in den LIVERSURGERY-TRAINER integriert werden. Durch die oft großen Datenmengen stellen sie besondere Anforderungen an die Entwicklungsumgebung.

- **3D-Daten**

Zur Vermittlung der Therapieplanung ist es erforderlich, 3D-Daten einzubeziehen. Trotz großer Datenmengen und deren aufwendiger Visualisierung muss eine effiziente und interaktive Darstellung von 3D-Inhalten möglich sein.

- **Video**

Im LIVERSURGERYTRAINER kommt Videomaterial vor allem in Form von Sonographieaufnahmen und Operationssequenzen zum Einsatz. Die Entwicklungsumgebung muss dieses Medium unterstützen und grundlegende Navigationsfunktionen und deren Erweiterung zulassen.

- **Interaktive Elemente**

In die einzelnen Lerneinheiten werden interaktive Elemente integriert. Dazu gehören sowohl grundlegende interaktive Objekte, wie Buttons, Schieberegler und Dialogboxen als auch komplexere Interaktionen, wie die Manipulation von Objekten durch den Lernenden, die Navigation und Exploration in 3D-Szenen oder die Auswahl von Fällen. Mit Hilfe der Entwicklungsumgebung muss der Entwickler in der Lage sein, komplexe Interaktionselemente zu erstellen.

Gefordert wird also eine Programmierumgebung, die die Erstellung interaktiver multimedialer Anwendungen gut unterstützt.

6.1.2 Diskussion der Entwicklungswerkzeuge

Im Vorfeld der Entwicklung erfolgte keine Spezifizierung eines Systems. Deshalb wurden repräsentative Entwicklungssysteme ausgewählt und diese anhand der vorgestellten Kriterien untersucht.

Die bekanntesten traditionellen Entwicklungssysteme aus dem Bereich der Lernsoftware-Erstellung sind Macromedia AUTHORWARE¹ und SumTotal Systems TOOLBOOK².

¹Macromedia AUTHORWARE 7 – <http://www.macromedia.com/software/authorware/>

²SumTotal Systems TOOLBOOK – <http://www.sumtotalsystems.com/toolbook/>

AUTHORWARE besitzt zwar eine eingeschränkte 3D-Funktion, aber keine mächtige Programmiersprache. TOOLBOOK dahingegen kann keine 3D-Inhalte einbinden, verfügt aber über eine umfangreiche und leistungsstarke Programmiersprache.

Zwei wichtige Vertreter für professionelle Multimedia-Produktionen sind Macromedia DIRECTOR³ und Macromedia FLASH⁴.

Macromedia DIRECTOR ist ein Werkzeug, welches insbesondere die Entwicklung von Lernsystemen mit multimedialen Inhalt gut unterstützt. FLASH hat ähnliche Multimedia-Eigenschaften, aber der Import von hochwertigen Videosequenzen ist sehr eingeschränkt. Der große Nachteil von FLASH ist das nicht unterstützte graphische Rendering von 3D-Daten, welches für das Entwicklungswerkzeug gefordert wird.

Zwei weitere Systeme sind ILAB [HAHN et al., 2003] und SQUEAK [GUZDIAL und ROSE, 2001], die aufgrund ihrer mächtigen Programmierumgebung und dem effizienten Rendering von 3D-Inhalten ausgesucht wurden. Trotz dieser Vorzüge gibt es nur eingeschränkte Unterstützung bei der Erstellung von multimedialen Anwendungen. Dies liegt vor allem an der verwendeten Programmiersprache und an den fehlenden Konstrukten, die die konsistente Einbindung von verschiedenen Medien kaum möglich macht. Desweiteren ist in beiden Werkzeugen die Integration von Videos entweder nicht oder nur rudimentär realisiert.

6.1.3 Zusammenfassung

In Tabelle 6.1 sind die Ergebnisse der Untersuchung zusammengefasst. Es ist zu entnehmen, dass das Entwicklungssystem Macromedia DIRECTOR die meisten geforderten Kriterien erfüllt. Deshalb ist es für die Realisierung des LIVERSURGERYTRAINER am besten geeignet. Alle anderen Systeme haben entweder Defizite bei der Unterstützung von 3D-Daten (AUTHORWARE, TOOLBOOK, FLASH) oder sind bei der multimedialen Einbindung (ILAB, SQUEAK) eingeschränkt.

	Med. Daten	3D-Daten	Video	Interaktionen
AUTHORWARE	○	○	+	○
TOOLBOOK	○	–	+	○
DIRECTOR	○	+	+	+
FLASH	○	–	○	+
ILAB	+	+	–	○
SQUEAK	○	+	○	+

Tabelle 6.1: Ergebnisse in Bezug auf die erarbeiteten Kriterien, (+) – Kriterium wird in einem ausreichenden Maße unterstützt, (○) – Kriterium wird eingeschränkt erfüllt, (–) – Kriterium wird nicht erfüllt.

³Macromedia DIRECTOR – <http://www.macromedia.com/software/director/>

⁴Macromedia FLASH – <http://www.macromedia.com/software/flash/>

6 Realisierung des LIVERSURGERYTRAINER

Abbildung 6.1 zeigt die Benutzungsoberfläche von Macromedia DIRECTOR. Dort können komplexe Interaktionen und Animationen direkt definiert und gesteuert werden. DIRECTOR ist in der Lage, medizinische Daten mit ihren speziellen Eigenschaften (hohe Auflösung, große Datenmengen) zu integrieren, wenn sie in einem gängigen Datenformat vorliegen oder dorthin konvertiert werden.

3D-Szenen mit den dazu gehörigen Objekten können als W3D-Datei⁵ importiert oder direkt in DIRECTOR erstellt werden (einfache Primitive). Zur flexiblen Darstellung von 3D-Inhalten benutzt Director eine von INTEL entwickelte 3D-Engine. Mit dieser ist es möglich, Objekte sowohl mit flächenhaften Methoden (*Gouraud-Shading*) als auch *NPR*-Techniken (z.B. *Silhouetten*, *bildbasiertes Stippling*, *Toon-Shading*) zu rendern. In DIRECTOR ist zusätzlich die Verknüpfung beider Methoden möglich. Eine weitere Stärke von DIRECTOR ist die Möglichkeit, Objekte als Multi-Resolution-Mesh darzustellen und somit die Objektdarstellung dynamisch an die Ressourcen anpassen zu können. Für die Entwicklung steht die objektorientierte Skriptsprache LINGO zur Verfügung. Mit ihrer Hilfe können die Prozeduren und Komponenten für das Lernsystem realisiert werden.

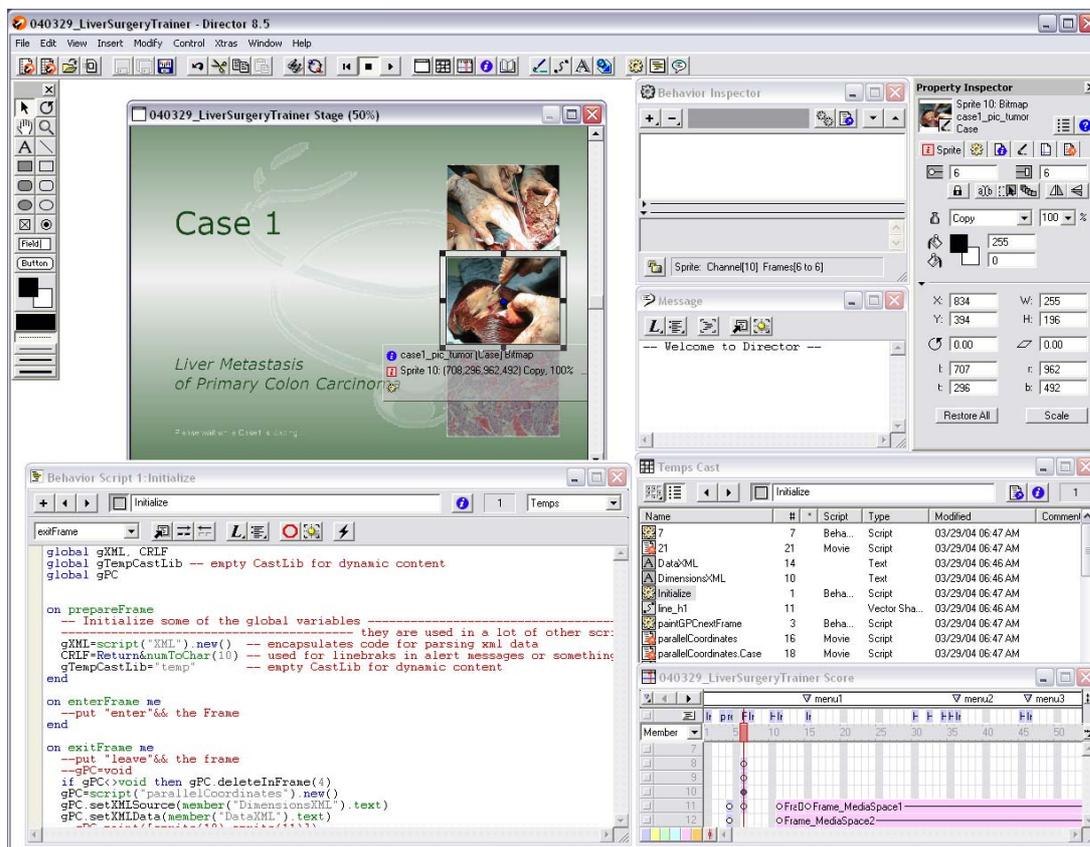


Abbildung 6.1: Benutzungsoberfläche von Macromedia DIRECTOR.

⁵Ein von Macromedia DIRECTOR benutztes Format zur Speicherung von Objekteigenschaften.

6.2 Aspekte der Realisierung

Für die prototypische Realisierung des im vorigen Kapitel entworfenen LIVERSURGERY-TRAINER wird Macromedia DIRECTOR in der Version 8.5 und die interne Programmiersprache LINGO verwendet. In diesem Abschnitt wird insbesondere auf die Realisierung der Benutzungsoberfläche und der authentischen Visualisierung von Strukturen eingegangen.

6.2.1 Realisierung der Benutzungsoberfläche

Bei der Gestaltung der Oberfläche gibt es in DIRECTOR keine Richtlinien oder Fenstermanager; der Entwickler hat alle Freiheiten. So wurde der Entwurf der Benutzungsoberfläche (siehe Abschnitt 5.2.5) konsequent umgesetzt. Abbildung 6.2 zeigt die Benutzungsoberfläche des LIVERSURGERYTRAINER während der Fallbearbeitung. Der Navigationsbereich wurde entsprechend dem Entwurf im oberen Teil des Bildschirms mittig positioniert und ist somit immer erreichbar. Darunter wurde der Lernbereich platziert. Dort werden je nach Lerneinheit und Lernschritt unterschiedliche Medien in „Containern“ präsentiert und können ebenso bearbeitet werden. Die Anordnung im Lernbereich richtet sich nach den aktuell verwendeten Medien. Im unteren Bereich befinden sich die Lernhilfen und die Anzeige für den Lerndialog.

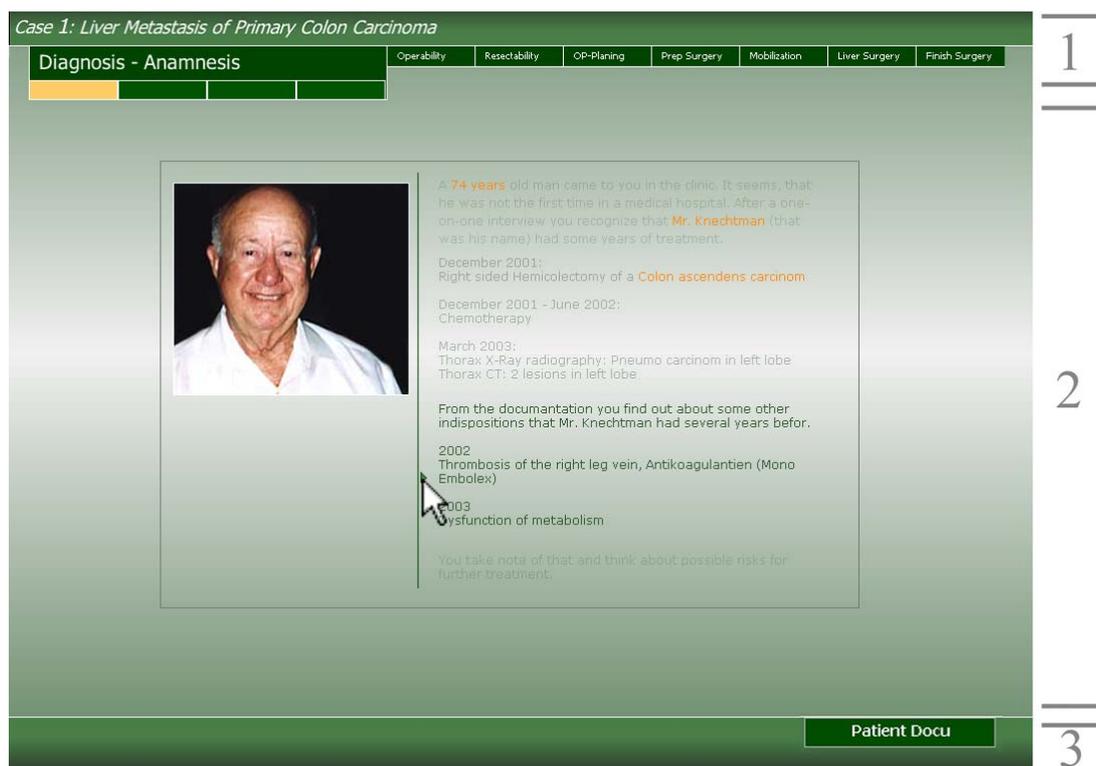


Abbildung 6.2: Die mit Hilfe von DIRECTOR umgesetzte Benutzungsoberfläche. Die wichtigen Bereiche sind der Navigationsbereich (1), der Lernbereich (2) und der Bereich für den Lerndialog und die Lernhilfen (3).

6.2.2 Verwendete Formate

Die Falldaten werden sowohl von der Fallauswahl (Charakteristik der einzelnen Fälle) als auch dem Navigationsmenü (Daten von Lerneinheiten und Lernschritten) verwendet. Als Speicherung dieser Daten bietet sich die XML-Auszeichnungssprache an, da sie ein offenes Format darstellt und die Auszeichnung durch individuelle, aber auch standardisierbare Markierungen durchgeführt werden kann. So ist es gewährleistet, dass die Daten problemlos wieder verwendet werden können. Die XML-Dokumente (siehe Abbildung 6.3) werden beim Start des LIVERSURGERYTRAINER mit Hilfe eines Parsers, der standardmäßig in DIRECTOR verfügbar ist, eingelesen.

Die fallspezifischen 3D-Modelle liegen, wie beschrieben, im OPENINVENTOR-Format (*.iv) vor. Diese Dateien werden mit einem Konvertierungswerkzeug in das W3D-Format überführt, welches DIRECTOR importieren kann. Danach stehen die 3D-Szenen und 3D-Objekte in DIRECTOR zur Verfügung.

```
<?xml version="1.0"?>
<Data>
  <Case caseName="Liver Metastasis of Primary Colon Carcinoma"
    patientName="GH">
    <Dimensions>
      <Tumor value="Metastasis"/>
      <Difficulty value="7"/>
      <Status value="2"/>
      <Duration value="32"/>
      <Age value="74"/>
      <Sex value="Male"/>
      <Therapy>
        <Resection/>
      </Therapy>
    </Dimensions>
  </Case>
  ...
</Data>
```

Abbildung 6.3: XML-Datenstruktur eines Falles zur Verwendung in der Fallauswahl.

6.2.3 Authentische Darstellung am Beispiel des Tumors

Infolge der geringeren Auflösung der Schichtebenen in z-Richtung⁶, die in den CT-Datensätzen von MEVIS vorlagen, kommt es zu einer artefaktbehafteten Visualisierung der Tumoren (siehe

⁶Es entstehen anisotrope Bildvoxel (zum Beispiel 0.672mm x 0.672mm x 2.000mm)

Abbildung 6.4(a)). Die im Entwurf vorgestellte Methode zur authentischen Tumorvisualisierung wurde in ILAB als Netzwerk integriert (siehe Abbildung 6.5). Dabei wurden, in ILAB verfügbare Operatoren wie „Dilatation“ oder „Gauss-Filter“ in der notwendigen Reihenfolge miteinander verknüpft.

Dabei mussten die anisotropen Voxel im Datensatz beachtet werden, die eine nicht-lineare Filterung voraussetzen. Bei randnahen Lebertumoren war es zusätzlich nötig, die Ausdehnung zu begrenzen, um ein „Herauswachsen“ aus der Leber zu verhindern. Dies kann mit Hilfe von Clipping des Tumors gegen die Leberoberfläche durchgeführt werden (siehe Abbildung 6.4(b)). Das Ergebnis kann dann in einem weiteren Schritt als *Isosurface* gerendert und als 3D-Modell abgespeichert werden.

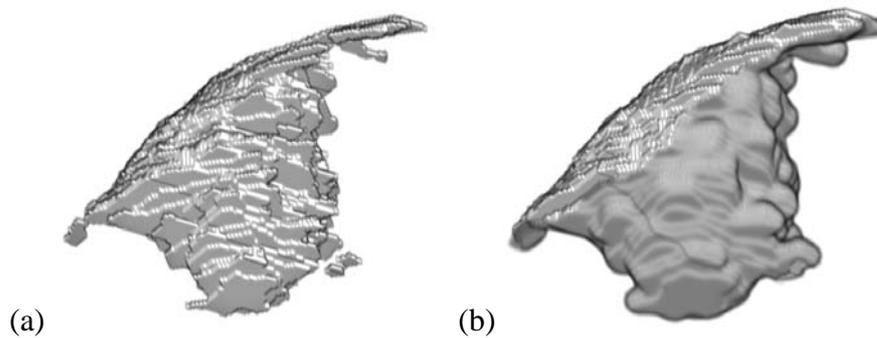


Abbildung 6.4: Tumorvisualisierung mit Volumen-Rending. (a) Originaldaten des Tumors mit Artefakten, (b) Glättung des Tumors und Clipping gegen die Leberoberfläche.

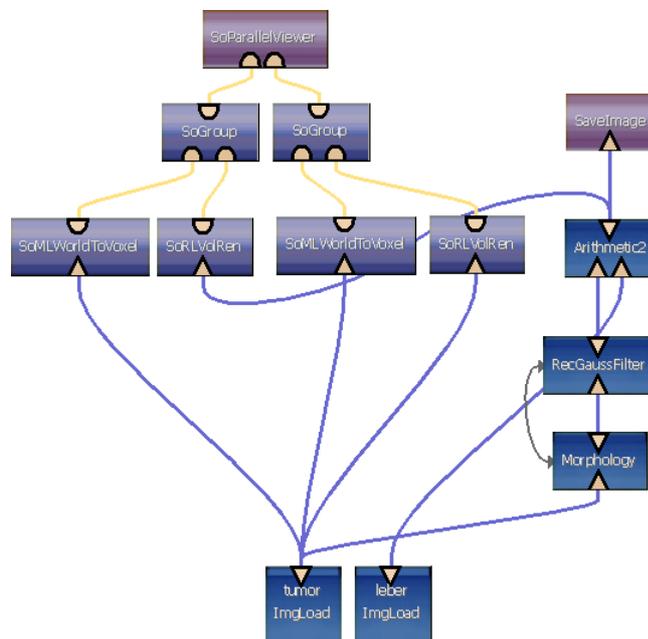


Abbildung 6.5: ILAB-Netzwerk zur Modifizierung der Gestalt einer Struktur.

6.3 Fallstudie

In den folgenden Abschnitten wird anhand des Falles „Liver Metastasis of Primary Colon Carcinoma“ der komplette Fallablauf veranschaulicht. Dabei wird die Fallbearbeitung in einer linearen Schrittfolge durchlaufen und die Interaktionselemente an den entsprechenden Stellen erläutert.

6.3.1 Fallauswahl

Bei dem Start des LIVERSURGERYTRAINER gibt es die Möglichkeit, sich aus der Falldatenbank diejenigen Fälle auszuwählen, die bearbeitet werden sollen (siehe Abbildung 6.6). Bewegt der Lernende die Maus über die Linie eines Falles oder Achsenabschnittes (Merkmal), wird die selektierte Linie durch eine Verbreiterung und Farbänderung hervorgehoben. Dadurch ist ein visuelles Feedback gegeben. Abbildung 6.7 zeigt das interaktive Vorgehen bei der Fallauswahl. Dabei können zum Beispiel Merkmale selektiert, Fälle eingegrenzt und einzeln ausgewählt werden (siehe Abbildung 6.7(a)-(c)).

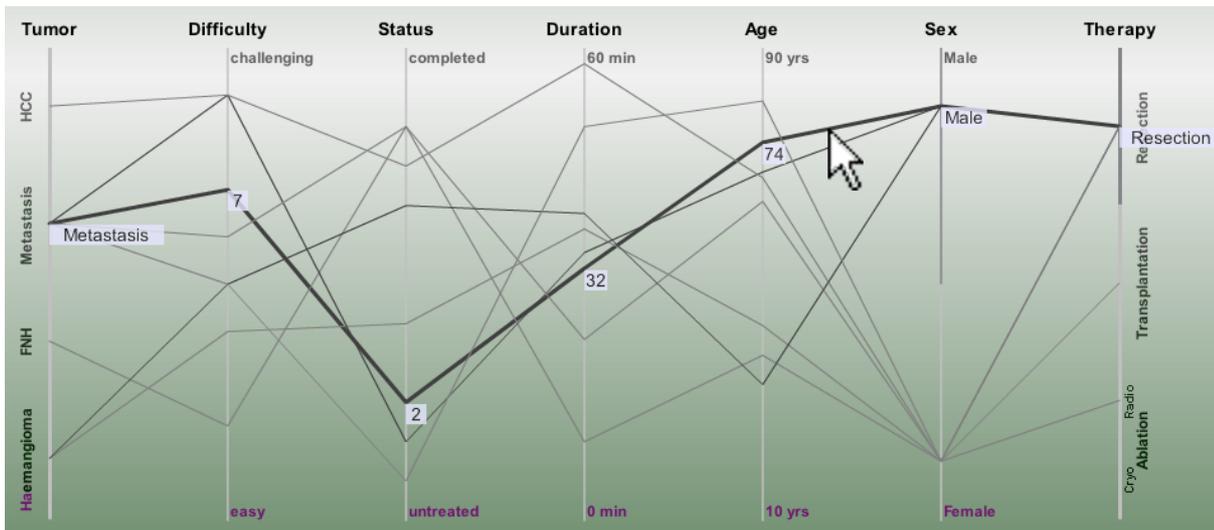


Abbildung 6.6: Tooltips zur Einblendung von Zusatzinformationen eines selektierbaren Falles (Fallcharakteristik).

Ein positiver Aspekt des Auswahlkonzeptes ist die graphische Darstellung der gesamten Falldatenbank. Bei dem Prozess der Fallauswahl wird (unbewusst) mehr über die auszuwählenden Daten und ihre Beziehungen untereinander gelernt.

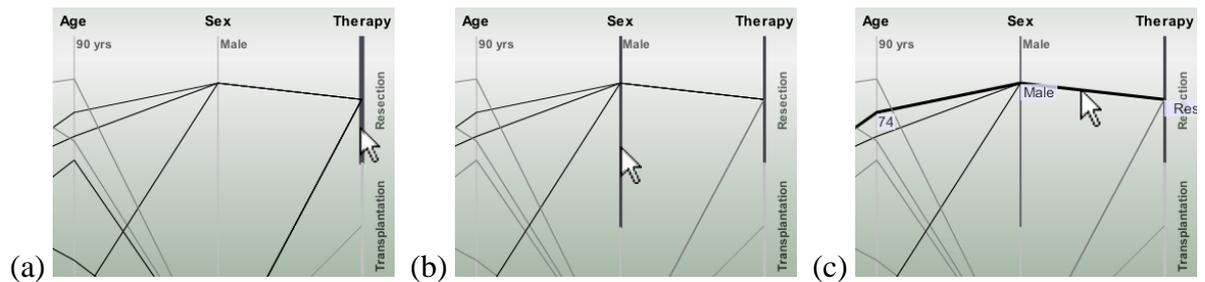


Abbildung 6.7: Interaktives Vorgehen bei der Fallauswahl. (a) Selektion eines Merkmales (Resektion), (b) Eingrenzung der Fälle durch eine weitere Merkmalsselektion (Geschlecht), (c) Anzeigen von Zusatzinformation eines Falles mit Hilfe von Tooltips.

6.3.2 Start des Fallablaufs

Nach der Auswahl eines Falles werden die Falldaten einschließlich der 3D-Modelle und der Daten des Navigationsmenüs geladen. Dabei werden erste Bilder und Zusatzinformationen des Falles auf dem Startbildschirm angeboten (siehe Abbildung 6.8).



Abbildung 6.8: Startbildschirm mit ersten Bildern und Informationen zum Fall während der Fall geladen wird.

Ist der Fall komplett geladen, startet die Fallablaufkomponente (siehe Abbildung 6.9). Anfangs erscheint ein zentrales Menü im Lernbereich, das es dem Lernenden ermöglicht:

1. den Fallablauf am Start zu beginnen,
2. zu einem bestimmten Punkt in dem Fallablauf zu springen oder
3. zur Fallauswahl zurückzukehren und einen neuen Fall zu wählen.



Abbildung 6.9: Start der Fallablaufkomponente mit dem zentralen Startmenü.

Das Menü dient der schnellen Navigation am Beginn des Fallablaufes. Für die eigentliche Auswahl der Lerninhalte wird das Navigationsmenü im Navigationsbereich genutzt.

6.3.3 Navigationsmenü

Das Navigationsmenü ist während des gesamten Fallablaufes zugänglich und gewährleistet jederzeit den gezielten Zugriff auf den Lerninhalt. Der Algorithmus der *Fisheye*-Technik arbeitet auf den Elementen des Menüs (den Lerneinheiten) und ist so gestaltet, dass jeweils maximal drei Elemente *aktiv* sind – das fokussierte und die beiden angrenzenden Elemente (siehe Abbildung 6.10(a)). Ein *aktives* Element hat die folgenden Eigenschaften:

- Die Position ist abhängig von den Mauskoordinaten.
- Die Größe ist abhängig von der Distanz zu den Mauskoordinaten.
- Zusätzliche Informationen (z.B. Lernschritte) sind sichtbar. Die Sichtbarkeit richtet sich nach der Distanz des Elementes zur Mausposition.

Das fokussierte Element wird neben der Größe zusätzlich farblich hervorgehoben. Fährt der Lernende mit der Maus über die untergeordneten Lernschritte einer Lerneinheit, werden diese aktiv. Insofern sind die übrigen Lerneinheiten nicht mehr im Interesse des Lernenden und werden „ausgeblendet“, indem die Beschriftung der Lerneinheiten transparenter wird (siehe Abbildung 6.10(b)).

Das Navigationsmenü erlaubt den Zugriff auf den Anfang des Fallablaufes oder auf eine beliebig andere Lerneinheit.

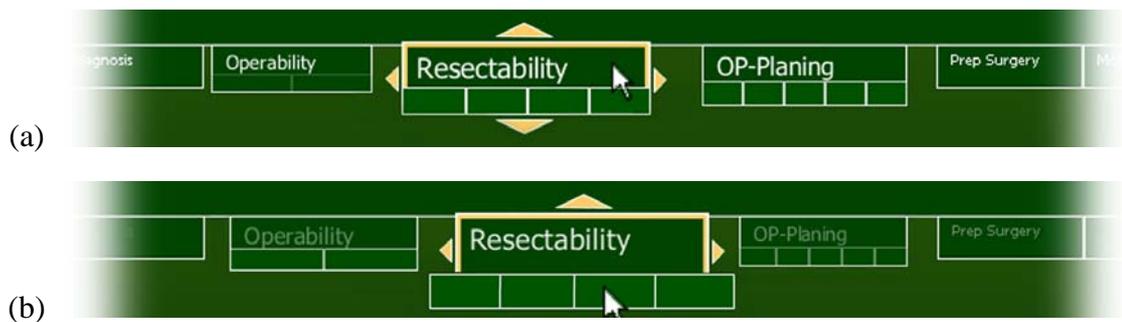


Abbildung 6.10: Ausschnitt des Navigationsmenüs. (a) Durch die angewandte *Fisheye*-Technik können in den fokussierten Elementen Zusatzinformationen angezeigt werden., (b) Bei der Wahl von Unterelementen sind alle übrigen Elemente nicht mehr von Interesse und werden „ausgeblendet“.

6.3.4 Lerneinheit „Diagnostik“

Die Lerneinheit „Diagnostik“ dient der Einführung in den Fall und der Vorstellung der Diagnose. Sie wird hauptsächlich präsentiert, da dort keine Interaktionen bezüglich der Lernziele „Therapieentscheidung“ und „Therapieplanung“ erforderlich sind.

Durch die Wahl der Lerneinheit „Diagnostik“ (entweder über das zentrale Menü oder über das Navigationsmenü zu erreichen) startet der Fallablauf mit dem ersten Lernschritt „Anamnese“ (siehe Abbildung 6.2), der den Patienten vorstellt. Ein nächster wichtiger Lernschritt innerhalb der Lerneinheit ist die Untersuchung mittels bildgebender Verfahren (siehe Abbildung 6.11). Im Lernbereich des Schrittes wird eine Auswahl an Ergebnissen der bildgebenden Verfahren (insbesondere CT-Bilder) präsentiert. Anfänglich liegen diese als kleine Übersichtsbilder vor (Abbildung 6.11, rechts oben) und können durch eine Interaktion des Lernenden in dem Arbeitsbereich (Abbildung 6.11, links) vergrößert werden. Dieser Bereich ist für den direkten Vergleich von radiologischen Bildern untereinander und deren Manipulation (Annotationen, Vergrößerung) konzipiert. Informationen und (manipulierte) Bilder, die eventuell in späteren Lernschritten gebraucht werden, können in der *Patientenakte* „abgelegt“ werden.

6.3.5 Die Patientenakte

Die Patientenakte ist im Lernhilfen-Bereich zu finden. Sie kann jederzeit und von jeder Stelle im Fallablauf aufgerufen werden. Sie begleitet den Lernenden somit durch die Fallabfolge und hält fallspezifische Dokumente und Informationen bereit, die der Lernende dort zuvor „abgelegt“ hat. Bei dem Auslassen von Lernschritten werden elementare Informationen (z.B. Name und Alter des Patienten, radiologische Bilder mit diagnostischer Aussagefähigkeit u.ä.) aus den übersprungenen Schritten in die Patientenakte aufgenommen.

Abbildung 6.11 und Abbildung 6.12 zeigen verschiedene Zustände der Patientenakte. Die jeweils zuletzt aufgenommenen Informationen werden hervorgehoben dargestellt (siehe z.B. Abbildung 6.12(a)), so dass der Lernende die Veränderungen in der Patientenakte nachvollziehen

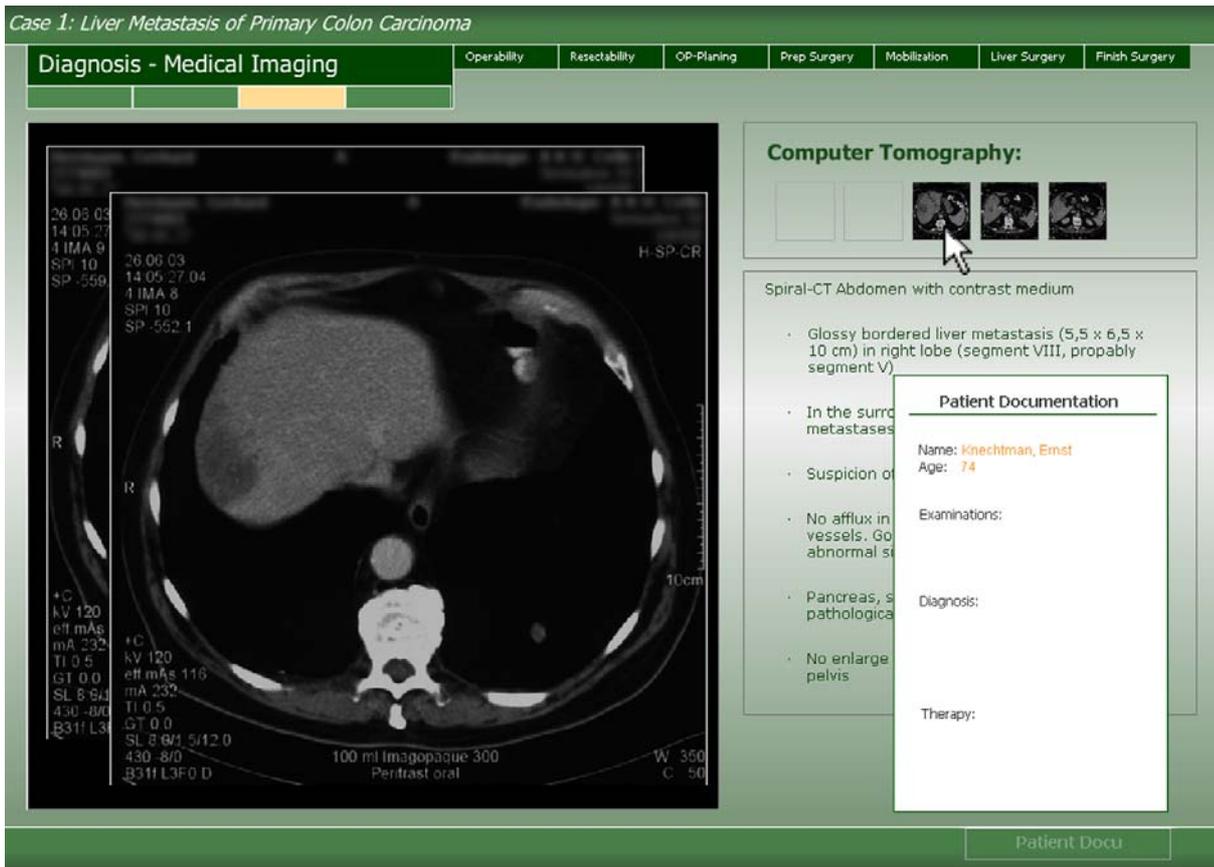


Abbildung 6.11: Lernschritt „Bildgebende Verfahren“ in der Lerneinheit „Diagnostik“ mit aufgeklappter Patientenakte.

kann. Durch die Verwendung der Patientenakte hat der Lernende immer einen Überblick über den kompletten Fall, unabhängig von seiner aktuellen Position im Fallablauf.

Optional ist es möglich, dass der Lernende aufgrund der Anamnese und der Ergebnisse der bildgebenden Verfahren eine mögliche Diagnose selbst erstellt und diese anschließend mit der im Fall gespeicherten Diagnose vergleicht.

6.3.6 Lerneinheit „Operabilität“

Die Lerneinheit „Operabilität“ beinhaltet die Lernschritte „Status des Patienten“ und „Leberfunktionsanalyse“. Auch in dieser Einheit werden nur Medien präsentiert, da das Trainieren von Therapieplanung nicht Lerngegenstand ist. Eine Vorentscheidung zur Therapie kann mit diesem Schritt dennoch getroffen werden, falls der Patient nicht operabel ist. Der Lernende kann diese Entscheidung trainieren, indem er sich nur die Fakten präsentieren lässt und selbst über die Operabilität entscheidet. Danach kann er seine Wahl mit der tatsächlichen Entscheidung der Operabilität vergleichen.

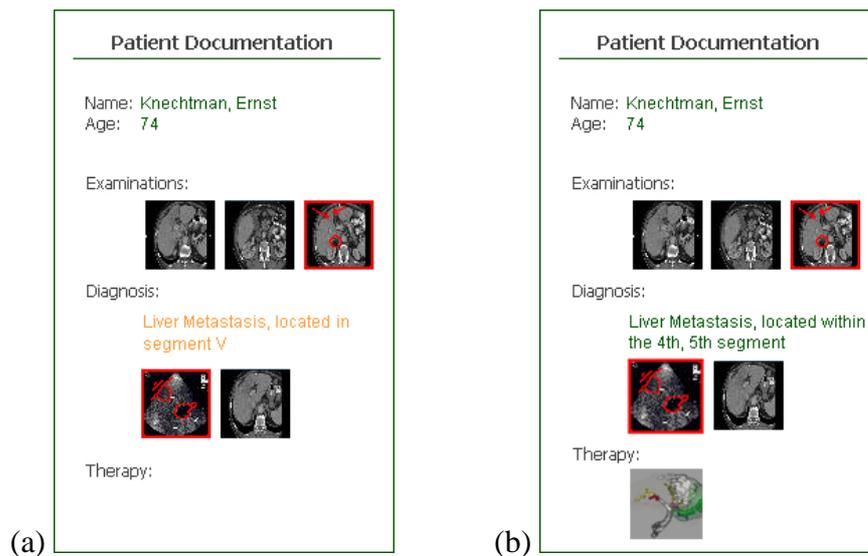


Abbildung 6.12: Interaktive Patientenakte zur Aufbewahrung von Dokumenten. (a) Patientenakte mit wichtigen Informationen und Dokumenten zur Diagnose, (b) Patientenakte während der Therapieplanung.

6.3.7 Lerneinheit „Resektabilität“

Ist der Patient operabel, kann die Lerneinheit „Resektabilität“ bearbeitet werden. Hier wird untersucht, ob die Erkrankung durch eine Resektion entfernt werden kann. Dazu sind die in Abschnitt 5.2.4 entworfenen Lernschritte notwendig.

Die Lerneinheit ist von zentraler Bedeutung, da sie über die Art der Therapie entscheidet und die Therapieplanung beinhaltet. In Abbildung A.2 im Anhang ist der Ablauf des ersten Lernschrittes „Tumorsicherheitsrand“ in einem Flussdiagramm schematisiert. In diesem Lernschritt werden zum Beispiel die einzelnen Lebergefäße auf ihre Lage zum Tumor hin untersucht.

Durch die räumliche Komplexität dieser Aufgabe werden die Lerninhalte in einer 3D-Szene angeboten. Dadurch sind zusätzliche Interaktionen definiert, die die Lernsituation authentisch machen. Die Kamera der Szene (vergleichbar mit der Sicht des Chirurgen) kann rotiert und verschoben werden, so dass der Lernende den Szenenausschnitt der jeweiligen Situation und seinen eigenen Bedürfnissen anpassen kann (siehe Abbildung 6.13(a) und Abbildung 6.13(b)).

Zusätzlich steht ein Optionsmenü (siehe Abbildung 6.13(c)) zur Verfügung. Dort sind, je nach Kontext, verschiedene Optionen verfügbar, wie zum Beispiel

- CT-Schichten ein- und ausblenden,
- Strukturen ein- und ausblenden,
- die geringste Distanz zwischen Tumor und Gefäßast anzeigen oder
- den Sicherheitsrand darstellen und in der Ausdehnung verändern.

6 Realisierung des LIVERSURGERYTRAINER

Durch diese in der 3D-Szene gegebenen Freiheiten und zusätzlichen Optionen kann der Lernende seine eigenen Handlungsstrategien während der Therapieplanung entwickeln.

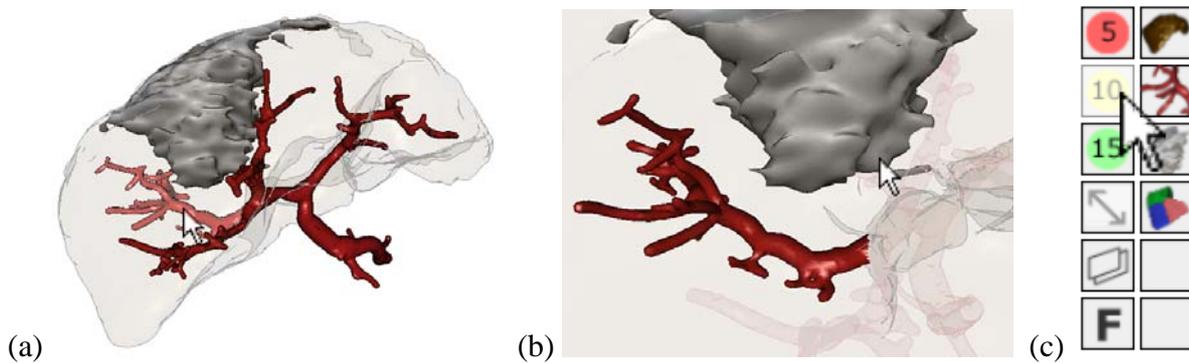


Abbildung 6.13: 3D-Szene im Lernschritt „Tumorsicherheitsrand“ und das integrierte Optionsmenü. (a) Überblicksdarstellung der Leber mit transparenter Oberfläche, (b) Ausschnitt der Szene mit Sicht auf den Tumor und ein Gefäßast, (c) Optionsmenü mit verschiedenen zusätzlichen Interaktionsmöglichkeiten.

Zusätzlich zur 3D-Szene können CT-Schichtbilder bei Bedarf des Lernenden eingeblendet werden (siehe Abbildung 6.14). Diese sind für die realitätsnahe Bearbeitung hilfreich, da in der chirurgischen Therapieplanung vorrangig 2D-Daten (insbesondere CT-Schichtbilder) verwendet werden. Zur Aufgabenlösung kann der Lernende somit seine Vorkenntnisse und Erfahrungen einfließen lassen.

6.3.8 Lerneinheiten der Operation

Nach erfolgreicher Therapieplanung werden die Lerneinheiten zur eigentlichen Operation präsentiert. Dabei werden relevante Ausschnitte des Operationsvideos zur Vermittlung des Lerninhaltes eingesetzt (siehe Abbildung 6.15). Während der Präsentation zeigt ein „Info“-Button an, wann zusätzliche Informationen zum aktuellen Videoausschnitt verfügbar sind. Bei Interesse kann der Lernende das Video anhalten und die weiterführenden Informationen werden präsentiert (z.B. das frei bewegliche 3D-Modell eines Operationsinstrumentes).

6.3.9 Zusammenfassung

Anhand der Fallstudie konnte gezeigt werden, dass die Abarbeitung eines repräsentativen Falles im LIVERSURGERYTRAINER möglich ist und der Lernprozess durch die entwickelten lokalen und globalen Interaktionselemente didaktisch unterstützt wird. Dazu muss die Fallbearbeitung nicht zwingend linear erfolgen, sondern es können auch Schritte des Fallablaufes übersprungen werden. Macromedia DIRECTOR ermöglichte die weitestgehend konsequente Umsetzung der in Kapitel 5 entworfenen Konzepte.

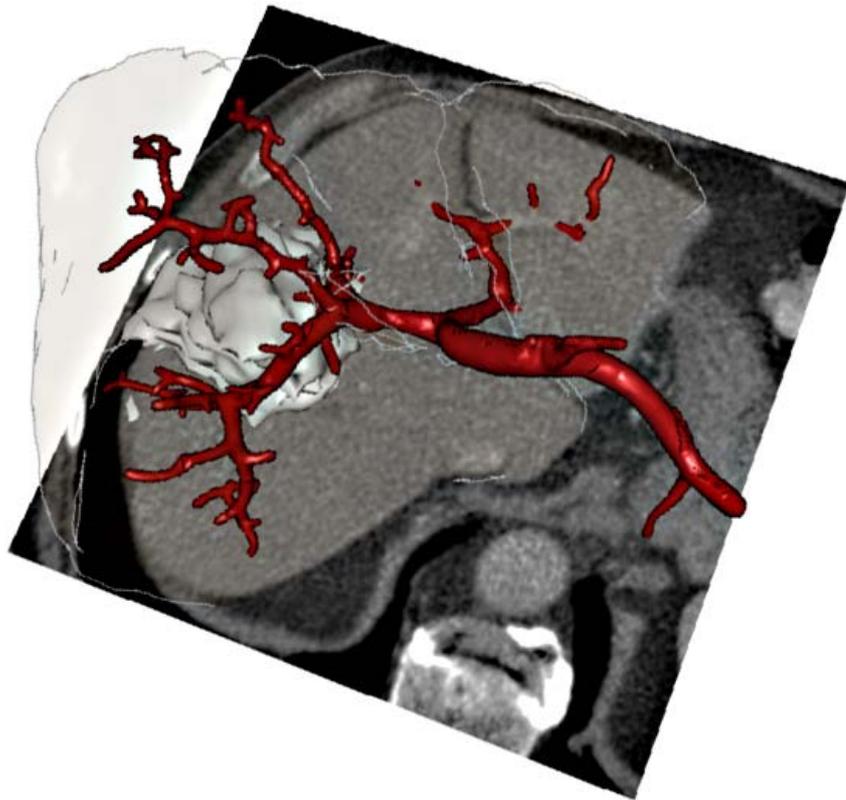


Abbildung 6.14: Kombination von zweidimensionalen CT-Schichtbildern und 3D-basierten Visualisierungen.

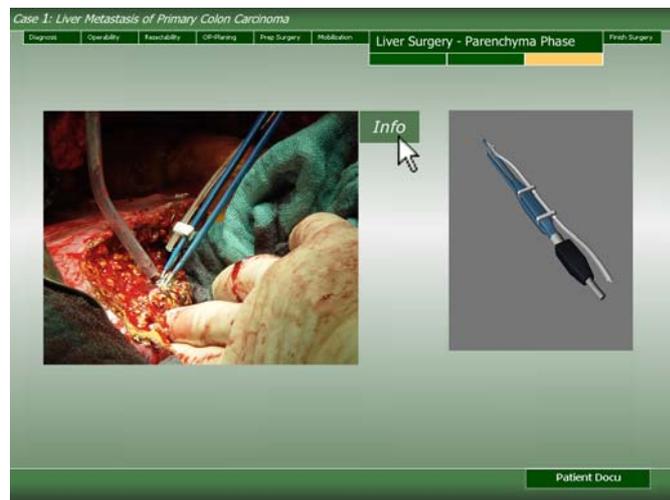


Abbildung 6.15: Lerneinheiten zur Operation. Der Lerninhalt wird hauptsächlich mit dem Medium „Video“ vermittelt.

Evaluierung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden verschiedene Visualisierungstechniken auf ihren didaktischen Einsatz im LIVERSURGERYTRAINER untersucht. Dabei sollen die Techniken helfen, die Bildinhalte möglichst gut zu vermitteln. In medizinischen Lernsystemen wurde sich bei computergenerierten Kontextvisualisierungen bisher auf die flächenhafte Darstellung von Strukturen konzentriert. Im Rahmen der Evaluierung soll herausgefunden werden, inwieweit der Einsatz von *NPR*-Techniken und deren Verknüpfung mit flächenhaften Techniken im LIVERSURGERYTRAINER didaktisch sinnvoll ist. Es soll geklärt werden, ob *NPR*-Techniken (insbesondere Silhouetten) für die Kontextvisualisierung in einem Lernprogramm geeignet sind.

Zur Evaluierung wurde ein Fragebogen mit verschiedenen Visualisierungstechniken zusammengestellt. Dieser entstand in der Zusammenarbeit mit *Christian Tietjen*, der in seiner Diplomarbeit [TIETJEN, 2004] speziell die Verwendung von Liniengraphiken in der medizinischen Visualisierung analysiert. Der Fragebogen ist der Arbeit als Anhang B beigelegt.

Bei der Planung zur Methodik wurde sich an bereits existierenden Fragebögen orientiert [OLDHAFFER et al., 2002], [OELTZE, 2004]. Diese evaluieren ebenfalls medizinische Visualisierungen und befragen eine ähnliche Zielgruppe. Die folgenden Fragestellungen werden mit Hilfe des Fragebogens untersucht:

- Welche Visualisierungstechnik wird von der Zielgruppe bevorzugt?
- Inwieweit beeinflusst die „Komplexität“ des Kontextes die Präferenz der Visualisierungstechnik?
- Inwiefern hat die verwendete Visualisierungstechnik Einfluss auf die Interpretierbarkeit (Form der Objekte, räumliche Orientierung) der Szene?
- Welche Wichtigkeit haben die einzelnen extrahepatischen Strukturen bei einer leberspezifischen Fragestellung?
- Können aus den Ergebnissen Einstellungen für standardisierte Ansichten abgeleitet werden?

Als Diskussionsgrundlage wurde eine erste Version des Fragebogens erstellt und ein Treffen mit dem klinischen Partner (Zielgruppe des LIVERSURGERYTRAINER) organisiert.

7.1 Initiale Methodik

Bei der Vorstellung des Fragebogens wurden einige Probleme sowohl der Methodik als auch der verwendeten Visualisierungen deutlich. Anfangs war angedacht, unterschiedlich viele Visualisierungen auf den einzelnen Blättern des Fragebogens zu platzieren. Laut dem klinischen Partner ist es besser, die Anzahl und Position der Darstellungen in dem Fragebogen einheitlich vorzunehmen. Da Techniken visuell verglichen werden, ist ein direkter horizontaler Vergleich zweier Darstellungen vorteilhaft (siehe Abbildung 7.3). Dadurch können die Entscheidungen schnell und sicher getroffen werden.

Durch die weitere Diskussion stellte sich heraus, dass die Strukturen innerhalb der Visualisierungen eine unbefriedigende Qualität aufwiesen. In Abbildung 7.1(a) sind Artefakte bei der transparenten Leberoberfläche zu erkennen. Diese traten nur bei den Bildern auf, die das Volumen-Rending als Methode zur Kontextvisualisierung einsetzten. Durch die Inhomogenitäten der Leberdarstellung erhöhte sich die Komplexität der Szene zusätzlich und der direkte Vergleich zweier Darstellungen, wie in Abbildung 7.1 gezeigt, war schwieriger. Dieses Problem konnte durch die Verwendung von *Backface Culling*, also der Entfernung von dem Betrachter abgewandten Objektflächen, gelöst werden.

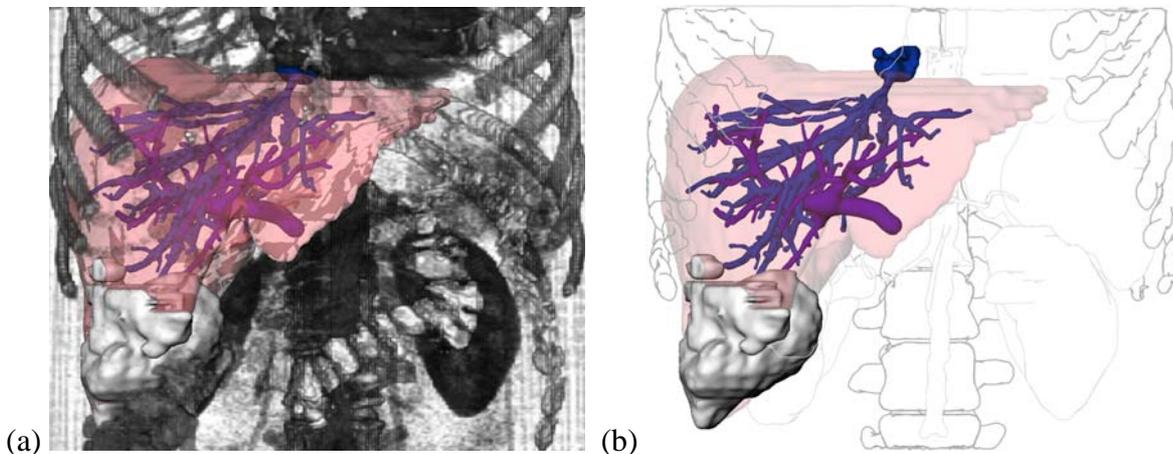


Abbildung 7.1: Vergleich der Lebertransparenz bei unterschiedlichen Methoden der Kontextvisualisierung. (a) Artefaktbehaftete Transparenz bei der Anwendung von Volumen-Rending, (b) Artefaktfreie Transparenz.

Weiterhin kam es infolge des großen Abstandes der CT-Schichten in z -Richtung bzw. zusätzlicher Segmentierungsfehler zu einer unnatürlichen Gestalt von wichtigen Strukturen wie zum

Beispiel der Rippen oder der Lebervene (siehe Abbildung 7.2(a)). Bei der fehlerhaften Segmentierung der Vene musste der übersegmentierte Teil entfernt werden. Die Gestalt der Rippen konnte mit der in Abschnitt 5.4.1 beschriebenen Methode verbessert werden (siehe Abbildung 7.2(b)).

Nach dem Vorschlag des klinischen Partners wurde die ursprünglich weiße Farbe des Tumors (siehe Abbildung 7.1(b)) dem Shading und der Färbung der Leberoberfläche angepasst (siehe Abbildung 7.3(a)). So ist der Bedeutung des Tumors und der Zugehörigkeit zur Leber besser einzuschätzen.

Eine weitere Verbesserung betraf den eigentlichen Kontext. Nach Meinung des klinischen Partners sind zu viele Strukturen als Kontext bei leberspezifischen Fragestellungen eher störend. Die wichtigsten Strukturen sind Galle und das Skelett. Deshalb wurden zu den ursprünglichen Bildern mit einem komplexen Kontext (siehe Abbildung 7.3(a)) weitere Darstellungen, die nur die Galle und das Skelett als Kontext zeigen (siehe Abbildung 7.3(b)) in den Fragebogen aufgenommen.

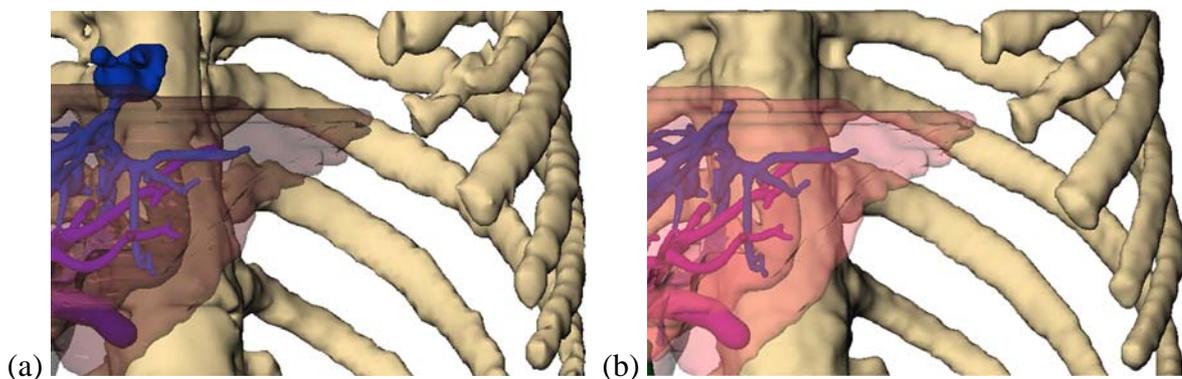


Abbildung 7.2: Vergleich der Gestalt von Lebervene und Rippen vor und nach der Bearbeitung. (a) Nicht authentische Gestalt der Rippen und übersegmentierte Lebervene (blau), (b) geglättete Rippen und entfernte Übersegmentierung der Lebervene.

Die Struktur des Fragebogens, die Anordnung der Darstellungen auf einer Seite sowie die Visualisierungen wurden, wie beschrieben, modifiziert.

7.2 Methodik

Für die Befragung wurden Ärzte mit dem Schwerpunkt Viszeralchirurgie (Prof. Oldhafer und seine Arbeitsgruppe) ausgewählt, also die Zielgruppe des LIVERSURGERYTRAINER und insgesamt zehn Fragebögen verschickt. Der Fragebogen wurde in Papierform erstellt, da ein Computer oder Internetzugang nicht für jede Person der Zielgruppe vorausgesetzt werden konnte.

Erfragt wurden unter anderem auch persönliche Angaben wie Alter, Geschlecht oder Erfahrung mit dem Computer. Sie dienen erstens dazu, die Ergebnisse hinsichtlich der persönlichen

7 Evaluierung

Angaben zu bewerten und zweitens der Überprüfung, ob ein repräsentativer Querschnitt der Chirurgen befragt wurde (vgl. [OLDHAFFER et al., 2002]).

Weiterhin wurde die Wichtigkeit ausgewählter Strukturen hinsichtlich ihrer Verwendung als Kontextvisualisierung erfragt. Dies ist insofern wichtig, um abschätzen zu können, welche extrahepatischen Strukturen bei der leberspezifischen Visualisierung eingesetzt werden können.

Eine didaktische Evaluierung der Visualisierungstechniken kann nicht von den zu vermittelnden Inhalten getrennt vorgenommen werden. Deshalb wurden Bilder mit leberchirurgischen Inhalt verwendet (siehe Abbildung 7.3). Diese sind aus einer interaktiven 3D-Darstellung entnommen, in der die Inhalte frei bewegt werden können. Auf jeder Seite werden zwei Bilder nebeneinander präsentiert. Somit ist der direkte horizontale Vergleich gegeben. In jedem Bild ist die Szene mit abdominalen Strukturen präsentiert, wobei die Leber und ihre intrahepatischen Strukturen im Fokus liegen und die extrahepatischen Strukturen als Kontext dienen.

Da die Evaluierung von Techniken zur Kontextvisualisierung im Mittelpunkt des Fragebogens steht, wurden die Parameter der einzelnen Bilder, die nicht unmittelbar den Kontext betreffen, unverändert präsentiert. Dabei handelt es sich insbesondere um den Szenenaufbau (Kamera, Sichtichtung) und die Leber mit ihren intrahepatischen Strukturen. So ist der ausschließliche Vergleich von Visualisierungstechniken als Kontext gewährleistet.

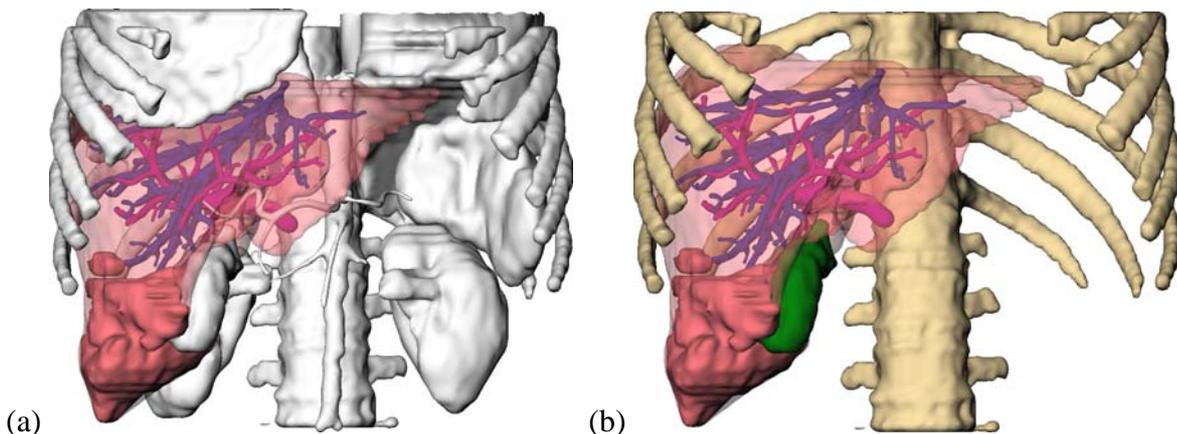


Abbildung 7.3: Beispieldarstellungen aus dem Fragebogen. (a) Gouraud-Shading mit einer schwarz/weiß-Farbpalette als Kontextvisualisierung, große Anzahl von Strukturen als Kontext, (b) Gouraud-Shading der farbigen Strukturen, ausschließlich Galle und Skelett als Kontext.

Die Befragung erfolgt durch zwei Frage-Antwort-Typen. Zum einen wurde nach der Bevorzugung eines Bildes bei einer gegebenen Fragestellung gefragt. Dadurch können persönliche Präferenzen für eine Visualisierungstechnik erfasst und berücksichtigt werden. Zum anderen dient eine Skala (–, -, o, +, ++) als Bewertungsmaßstab für die verschiedenen Visualisierungstechniken, die somit differenziert ausgewertet werden können (siehe Abbildung 7.4).

Es hat sich gezeigt, dass zur sinnvollen Beantwortung der Fragen auf relevante Aspekte in den komplexen Darstellungen hingewiesen werden muss. Deshalb wurden für die Mehrzahl der

Welches Bild gefällt Ihnen auf den ersten Blick besser?	links					rechts	
<i>Auf dieser Seite geht es um die direkte Gegenüberstellung der beiden Visualisierungstechniken.</i>	--				++	--	++
Wie gut ist die Leber von den umgebenden Strukturen zu unterscheiden? (gar nicht (--) bis sehr gut (++))	<input type="radio"/>						
Können Sie die Lage der Leber zum Brustkorb einschätzen? (nein, überhaupt nicht (--) bis ja, sehr gut (++))	<input type="radio"/>						
Wie gut sind die extrahepatischen Strukturen untereinander differenzierbar? (gar nicht (--) bis sehr gut (++))	<input type="radio"/>						
Mit welchem Bild würden sie sich auf eine Tumorsektion vorbereiten wollen?	<input type="radio"/>					<input type="radio"/>	

Abbildung 7.4: Fragen zur Evaluierung von Techniken für die Kontextvisualisierungen mit zusätzlicher Erklärung der Darstellungen.

Blätter des Fragebogens Erklärungen zu den Darstellungen angeboten. Durch wiederkehrende Fragen und Darstellungen kann es zu einer Gewöhnung und damit zu einer fehlerhaften Bewertung kommen. Aus diesem Grund wurden Fragen und Abbildungen in Ihrer Anordnung vertauscht.

7.3 Zu erwartende Ergebnisse

Aufgrund der sehr knapp bemessenen Zeit der Zielgruppe waren bis zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit leider noch keine Ergebnisse zurückgesandt. Trotzdem werden an dieser Stelle kurz einige zu erwartende Ergebnisse diskutiert.

Bei leberspezifischen Fragestellungen ist vor allem die topographische Einordnung der Leber zu den extrahepatischen Strukturen wesentlich. Dazu wird in vielen Fällen das Knochenskelett als „statisches“ Orientierungssystem verwendet (vgl. Abschnitt 2.1.1). Zusätzlich ist bei Eingriffen an der Leber die Gallenblase eine wichtige „dynamische“ Orientierung, zum Beispiel bei der klassischen Hemihepatektomie (Linie zwischen Vena Cava und Gallenblasenbett) oder bei Lebererkrankungen, die die Gallenblase betreffen (Karzinom der Gallengänge (CCC), Tumore nahe der Gallenblase). Da beide Strukturen bei der Therapieplanung eine sehr wichtige Rolle spielen, wird erwartet, dass sie für die Zielgruppe die wichtigsten extrahepatischen Strukturen darstellen.

Flächenhafte Visualisierungen haben eine weite Verbreitung gefunden und besitzen eine gute räumliche Zuordnung. Durch zusätzliche farbige Kennzeichnung lassen sich die Strukturen im Kontext gut voneinander differenzieren. *NPR*-Techniken sind der Zielgruppe aus traditionellen Lehrmaterialien bekannt und eignen sich gut, um die Strukturen als Kontext zu abstrahieren. Leider geht insbesondere bei der Verwendung von Silhouetten, die bei den Darstellungen im Fragebogen primär verwendet wurden, die räumliche Interpretierbarkeit verloren.

Deshalb ist davon auszugehen, dass die Verknüpfung von flächenhaften Methoden und *NPR*-Techniken bei der Kontextvisualisierung von der Zielgruppe bevorzugt wird (siehe Abbildung 7.5). Mit Hilfe dieses Ansatzes können Strukturen trotz einer ausreichend räumlichen Erscheinung visuell abstrahiert werden.

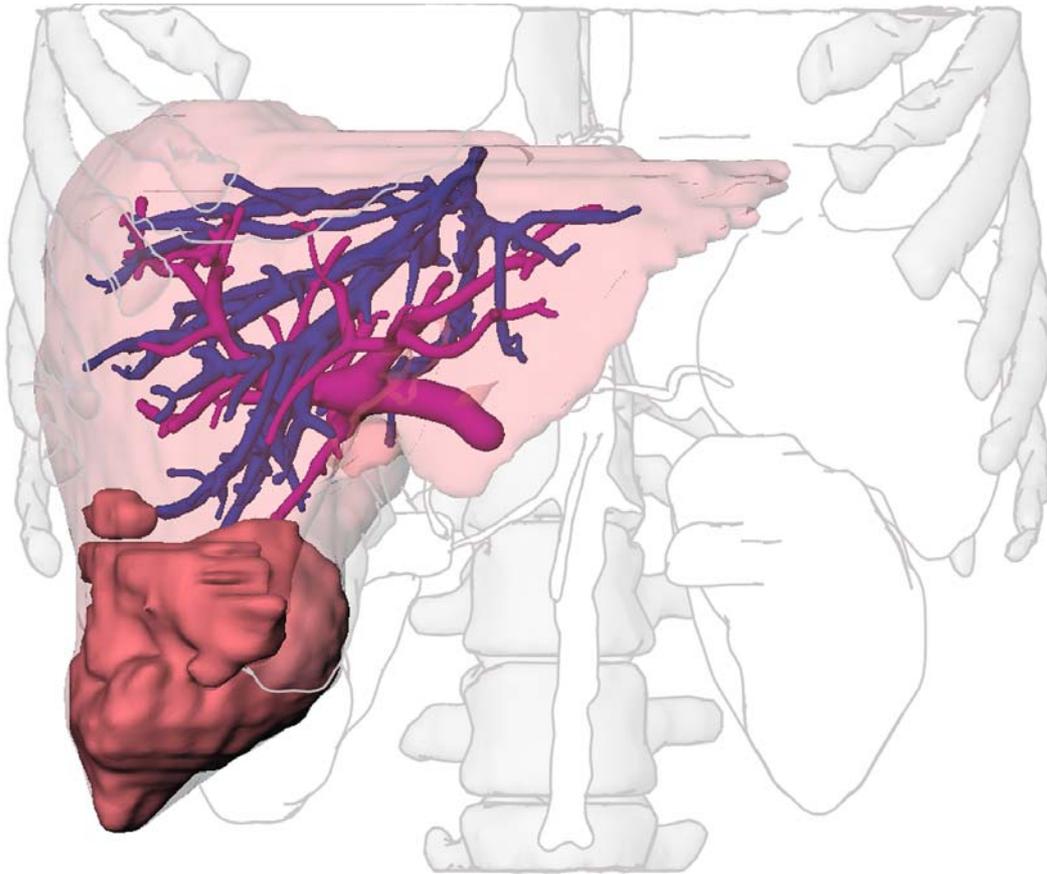


Abbildung 7.5: Verknüpfung von flächenhaften Methoden und *NPR*-Techniken als Kontext.

Zusammenfassung und Ausblick

Dieses Kapitel fasst abschließend die erreichten Ergebnisse zusammen. Es nennt die aufgetretenen Probleme und gibt einen Ausblick auf weiterführende Fragestellungen.

8.1 Erreichte Ergebnisse

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein Lernsystem als Prototyp (LIVERSURGERYTRAINER) für die chirurgische Ausbildung auf der Grundlage von klinischen Falldaten erstellt.

Dabei wurden zusätzlich klinische Daten von einer repräsentativen Anzahl an Fällen erhoben und die entsprechenden Operationen mit einer Videokamera aufgezeichnet. Der so erfasste Informationsraum wurde systematisiert und in einem ersten Schritt technisch aufbereitet. Dabei zeigte sich oft eine große Heterogenität der Daten, was die Aufbereitung erschwerte. Für die fallbasierte Erprobung des Lernsystems wurden mehrere repräsentative Fälle (und die damit verbundenen Lernmedien) didaktisch weiterverarbeitet und in den LIVERSURGERYTRAINER integriert.

Anhand der in den LIVERSURGERYTRAINER integrierten Fälle konnten Interaktionsstrukturen für die Präsentation und Exploration der Fälle entwickelt werden. Die Arbeit konzentrierte sich dabei insbesondere auf die Fallauswahl und das Navigationsmenü.

Die Analyse bestehender Methoden zur Fallauswahl ergab, dass diese für den LIVERSURGERYTRAINER keine befriedigende Lösung darstellten. Auf Grund dessen wurde eine neue Methode entwickelt. Das Konzept der „Parallelen Koordinaten“ ermöglicht die eindeutig visuelle Darstellung der gesamten Charakteristik eines Falles im Kontext aller anderen Fälle. Weiterhin ist die Aneignung zusätzlichen Wissens während des Auswahlprozesses denkbar, da die Ausprägungen aller Fälle und mögliche Merkmalshäufungen visuell intuitiv erschlossen werden können. Daraus kann der Anwender Schlussfolgerungen über die Fälle der gesamten Falldatenbank ziehen.

In einigen fallbasierten Lernsystemen ist der zielgerichtete Zugriff auf die Fallinhalte nicht möglich. Deshalb war die Erstellung eines flexiblen Navigationsmenüs für den LIVERSURGERYTRAINER erforderlich. Zur Navigation innerhalb eines Falles wurde eine hierarchisch organisierte, lineare Navigationsleiste entwickelt, die den allgemeinen Ablauf eines Falles in der Leberchirurgie visuell abbildet. Sie ermöglicht die übersichtliche und leicht erfassbare Präsentation der Struktur und einen sowohl flexiblen als auch gezielten Zugang zum Lerninhalt, der die Erarbeitung eigener Handlungsstrategien unterstützt. Zur weiteren Verbesserung des Konzeptes wurde die *Fisheye*-Technik angewendet. Dadurch können Zusatzinformationen (z.B. die Anzahl der Lernschritte in einer Lerneinheit) ohne zusätzliche Interaktionen angeboten werden.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit war die Untersuchung von Visualisierungsaufgaben, die sich bei der fallbasierten Chirurgieausbildung ergeben. Diese stehen im Zusammenhang mit der Umsetzung der Lernziele im LIVERSURGERYTRAINER. Bei der Systematisierung und Analyse ergab sich die Notwendigkeit von standardisierten, aber dennoch fallspezifischen und situationsbezogenen Visualisierungen. Dazu wurden vor allem Hervorhebungstechniken, flächenhafte Darstellungen und *NPR*-Visualisierungen sowie deren Kombinationen untersucht und erprobt. Die Synthese von traditionellen Methoden und *NPR*-Techniken scheint sehr vielversprechend, um den Lernprozess zu unterstützen. Die Ergebnisse sind in den LIVERSURGERYTRAINER integriert.

Ein Fragebogen wurde erstellt und an die Zielgruppe verteilt. Er dient der Evaluierung computergestützter Visualisierungstechniken für die medizinische Ausbildung. Dabei wird verstärkt auf die Verwendung von *NPR*-Techniken und deren Verknüpfung mit traditionellen Visualisierungen eingegangen. Die Ergebnisse der Evaluierung durch Assistenz- bzw. Fachärzte der Chirurgie stehen noch aus.

Bei der Entwicklung des LIVERSURGERYTRAINER wurden weiterführende Fragen und im Rahmen dieser Arbeit nicht zu lösende Problemstellungen erkennbar, welche im Folgenden näher besprochen werden.

8.2 Ausblick

Bei der bisherigen Auswahl der Fälle nach Erkrankung und Therapie wurde darauf geachtet, dass die Zusammenstellung und damit das Spektrum der Fälle repräsentativ ist. Dennoch ist zu erwähnen, dass die Fälle ausschließlich von einem Chirurgen (dem klinischen Partner) stammen und damit eine gewisse Subjektivität der Daten (z.B. Ergebnisse, Einschätzungen, Entscheidungen u.ä.) nicht auszuschließen ist. Eine möglichst große Objektivität (eine Vielzahl von Chirurgen und Kliniken mit einem breiten Erfahrungsschatz) wäre aber gerade eine Stärke von *CBT*-Systemen. Es wird also in Zukunft notwendig sein, Fälle von weiteren klinischen Partnern in den LIVERSURGERYTRAINER aufzunehmen.

Bei der weiteren Aufnahme von Fällen ist eine geeignete Schnittstelle zwischen dem LIVERSURGERYTRAINER und dem Autor (im Idealfall dem Chirurgen) erforderlich. Sie hilft dem Autor, die vorhandenen Medien und Dokumente zu einem Fall in den LIVERSURGERYTRAINER

einzuarbeiten. Dabei muss die Autorenschnittstelle auf den Erstellungsprozess einer multimedialen, interaktiven Fallpräsentation ausgerichtet sein. Dazu bedarf es typspezifischer Editoren für die einzelnen Medienobjekte und Interaktionen, mit denen sich beispielsweise Objektparameter oder dynamische Einflussgrößen einstellen lassen.

Die didaktische Aufbereitung von 3D-Modellen (z.B. das Glätten von Objekte) dient der authentischen und situationsgerechten Visualisierung in medizinischen Lernsituationen. Ein großes Problem ist dabei die Evaluierung des Transformationsprozesses und des daraus resultierenden Visualisierungsergebnisses. So müssen die Visualisierungen einerseits hohen didaktischen Anforderungen genügen und andererseits die in der Medizin geforderte Korrektheit aufweisen. Dafür sind geeignete Methoden zu entwickeln.

Neben den bisher beschriebenen statischen und interaktiven Visualisierungen sind bei der Vermittlung von medizinischen Lerninhalten auch dynamische Aspekte (Animationen) relevant. Insbesondere die Überleitung von einer Lernsituationen zur nächsten (z.B. Übergänge bei Hervorhebungswechsel, Heranführen an die Visualisierung, Überblendung von Ansichten) ist bedeutend. Aufgrund der enormen Anzahl von Einstellungsparametern ist es notwendig, Animationen adaptiv und automatisch generieren zu können. Auch der Einsatz von standardisierten Animationen kann den Lernprozess unterstützen.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Segmentgliederung der Leber	7
2.2	Intra- und extrahepatische Blut- und Gallenzirkulation	8
2.3	Intrahepatische Blutgefäße und Gallengänge	9
2.4	Variationen der Leberform	9
2.5	Variationen der Gefäße	10
2.6	Artdiagnose anhand der bildgebenden Verfahren.	13
2.7	Präoperative bildgebende Verfahren	14
2.8	Temporäres Abklemmen der Hilusgefäße	16
2.9	Möglichkeiten der Leberresektion	16
2.10	Methoden der Tumorablation	18
2.11	Vorverarbeitete 3D-Darstellungen	20
3.1	Lernzielarchitektur	27
4.1	Lernsysteme CASUS und CAMPUS	36
4.2	Der KARLSRUHE ENDOSCOPIC SURGERY TRAINER	38
4.3	Lernsysteme CHIRURGIE DER LEBER und WEBSURG	39
4.4	Der HEPA SURGERY TRAINER	39
5.1	Beispiele für allgemeine Daten zur Leberchirurgie	42
5.2	Videoaufnahmen während einer Leberoperation	43
5.3	Universeller Videoausschnitt	44
5.4	Analyse eines CT-Datensatzes bei MEVIS	45
5.5	HEPAVISION und der INTERVENTIONPLANNER	46
5.6	Oberste Strukturebene des LIVERSURGERYTRAINER	48
5.7	Inhaltliche Struktur des „Lehrbuches“	48
5.8	Fallablaufschema im LIVERSURGERYTRAINER	49
5.9	Didaktische Struktur einer Lerneinheit	50
5.10	Raumaufteilungskonzept des LIVERSURGERYTRAINER	51
5.11	Konventionelle Konzepte der Fallauswahl	52
5.12	Parallele Koordinaten	53
5.13	Skizzen des Navigationsmenüs	55
5.14	Gefäßvisualisierung	57

5.15	Artefaktbehaftete Visualisierung eines Tumors	57
5.16	Tumorvisualisierung mittels Volumen-Rendering	58
5.17	<i>NPR</i> -Techniken in der Medizin	59
5.18	Vergleich von Hervorhebungstechniken	60
5.19	Einsatz von klassischer und kombinierter Kontextvisualisierung	60
5.20	Medienspezifische Hervorhebung	61
5.21	Aufgabenspezifische Hervorhebung	62
5.22	Objektspezifische Hervorhebung	63
6.1	Macromedia DIRECTOR	68
6.2	Die Benutzungsoberfläche im LIVERSURGERYTRAINER	69
6.3	XML-Datenstruktur für die Fallauswahl	70
6.4	Tumorvisualisierung	71
6.5	ILAB-Netzwerk	71
6.6	Tooltips zur Einblendung von Zusatzinformationen	72
6.7	Interaktives Vorgehen bei der Fallauswahl	73
6.8	Startbildschirm eines Falles	73
6.9	Start der Fallablaufkomponente	74
6.10	Ausschnitt des Navigationsmenüs	75
6.11	Lernschritt „Bildgebende Verfahren“	76
6.12	Interaktive Patientenakte	77
6.13	3D-Szene im Lernschritt „Tumorsicherheitsrand“	78
6.14	Kombination von 2D- und 3D-Daten	79
6.15	Lerneinheiten zur Operation	79
7.1	Vergleich der Lebertransparenz	82
7.2	Vergleich der Gestalt von Lebervene und Rippen	83
7.3	Beispieldarstellungen aus dem Fragebogen	84
7.4	Fragen zur Evaluierung	85
7.5	Kontextvisualisierung	86
A.1	Entscheidungsaspekte bei der Lernsoftware-Entwicklung.	99
A.2	Lernschritt „Infiltration von Gefäßen“ als Flussdiagramm	100

Literaturverzeichnis

- [BADE et al. 2004a] BADE, Ragnar; MIRSCHEL, Sebastian; HAASE, Tina; KRÜGER, Arno; HINDENNACH, Milo; OLDHAFFER, Karl J. und PREIM, Bernhard: „Visualisierungstechniken für die Fallbasierte Chirurgieausbildung“. In: *Rechnergestützte Lehr- und Lernsysteme in der Medizin, 7. Workshop*, GMDS AG, Seite 13–24, Shaker Verlag, Aachen, 2004.
- [BADE et al. 2004b] BADE, Ragnar; MIRSCHEL, Sebastian; OLDHAFFER, Karl J. und PREIM, Bernhard: „Ein fallbasiertes Lernsystem für die Behandlung von Lebertumoren“. In: *Bildverarbeitung für die Medizin*, Informatik aktuell, Seite 438–442, Springer Verlag, Heidelberg, 2004.
- [BAUMGARTNER und PAYR 1999] BAUMGARTNER, Peter und PAYR, Sabina: *Lernen mit interaktiven Medien – Lernen mit Software*. 2. Aufl., Studien Verlag, München, 1999.
- [BEDERSON 2000] BEDERSON, Benjamin B.: „Fisheye Menus“. In: *Proceedings of ACM Conference on User Interface Software and Technology (UIST)*, Seite 217–226, ACM Press, 2000.
- [BENNINGHOFF und DRENCKHAHN 2002] BENNINGHOFF, Alfred und DRENCKHAHN, Detlev: *Anatomie – Band 1*, Urban & Fischer Verlag, München, 2002.
- [BMGS 2002] BMGS: *Bundesgesetzblatt – Approbationsordnung für Ärzte*, Bundesministerium für Gesundheit und soziale Sicherung, 2002.
- [BOURQUAIN et al. 2002] BOURQUAIN, Holger; SCHENK, Andrea; LINK, Florian; PREIM, Bernhard; PRAUSE, Guido und PEITGEN, Heinz-Otto: „HepaVision2: A software assistant for preoperative planning in living-related liver transplantation and oncologic liver surgery“. In: *Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS)*, Seite 341–346, Springer Verlag, Heidelberg, 2002.
- [COUINAUD 1957] COUINAUD, Claude: *Le Foie – Etudes anatomiques et chirurgicales*, Masson, Paris, 1957.
- [DEUSSEN et al. 1999] DEUSSEN, Oliver; HAMEL, Jörg; RAAB, Andreas; SCHLECHTWEG, Stefan und STROTHOTTE, Thomas: „An Illustration Technique Using Intersections and Skeletons“. In: *Proceedings of Graphics Interface*, Seite 175–182, Canadian Computer-Human Communications Society, Toronto, 1999.

- [DIAGRAMGROUP 1983] DIAGRAMGROUP, The: *The Human body on file*, Facts on File, New York, 1983.
- [DIETRICH et al. 2003] DIETRICH, Christoph G.; GEIER, Andreas; TACKE, Josef; GARTUNG, Carsten und MATERN, Siegfried: „Bedeutung bildgebender Verfahren für die chirurgische Indikationsstellung bei soliden Lebertumoren“. In: *Deutsches Ärzteblatt*. Bd. 100, Nr. 12, Seite 654–660, 2003.
- [FISCHER 2002] FISCHER, Martin R.: „CASEPORT: Systemintegrierendes Portal für die fallbasierte Lehre in der Medizin“. In: *Rechnergestützte Lehr- und Lernsysteme in der Medizin*, 6. Workshop, GMDS AG, Seite 153–162, Shaker Verlag, Aachen, 2002.
- [FISCHER et al. 1996] FISCHER, Martin R.; SCHAUER, S.; GRÄSEL, Cornelia; BAEHRING, Thomas; MANDL, Heinz; GÄRTNER, Roland; SCHERBAUM, W. und SCRIBA, Peter C.: „Modellversuch CASUS. Ein computergestütztes Autorensystem für die problemorientierte Lehre in der Medizin“. In: *Zeitschrift für Ärztliche Fortbildung*. Bd. 90, Seite 385–389, 1996.
- [FURNAS 1986] FURNAS, George W.: „Generalized Fisheye Views“. In: *Human Factors in Computing Systems (CHI'86)*, Seite 15–23, 1986.
- [GLOMBITZA et al. 1999] GLOMBITZA, Gerald; LAMADÉ, Wolfram; DEMIRIS, A.M.; GÖPFERT, Marc R.; MAYER, A.; BAHNER, M.L. und MEINZER, Hans P.: „Virtual planning of liver resections: image processing, visualization and volumetric analysis“. In: *Journal of Medical Informatics*. Bd. 53, Nr. 2-3, Seite 225–237, 1999.
- [GUZDIAL und ROSE 2001] GUZDIAL, Mark J. und ROSE, Kimberly M.: *Squeak: Open Personal Computing and Multimedia*. 1. Aufl., Prentice Hall, Englewood Cliffs, 2001.
- [HAHN et al. 2003] HAHN, Horst K.; LINK, Florian und PEITGEN, Heinz-Otto: „Concepts for Rapid Application Prototyping in Medical Image Analysis and Visualization“. In: *Simulation & Visualisierung (SimVis)*, Seite 283–298, SCS Europe, 2003.
- [HAHN et al. 2001] HAHN, Horst K.; PREIM, Bernhard; SELLE, Dirk und PEITGEN, Heinz-Otto: „Visualization and Interaction Techniques for the Exploration of Vascular Structures“. In: *IEEE Visualization*, Seite 395–402, IEEE Computer Society Press, 2001.
- [HAUSER et al. 2002] HAUSER, Helwig; LEDERMANN, Florian und DOLEISCH, Helmut: „Angular Brushing of Extended Parallel Coordinates“. In: *IEEE Information Visualization*, Seite 127, IEEE Computer Society Press, 2002.
- [HENDRIKS et al. 2004] HENDRIKS, Jan H.; HOLLAND, Roland und RIJKEN, Henny: *MammoTrainer – Interactive Training for Breast Cancer Screening Mammography*. CD-ROM, 2004.
- [HÖHNE et al. 2003] HÖHNE, Karl H.; PFLESSER, Bernhard; POMMERT, Andreas; PRIESMEYER, Kay; RIEMER, Martin; SCHIEMANN, Thomas; SCHUBERT, Rainer; TIEDE, Ulf; FREDERKING, Hans; GEHRMANN, Sebastian; NOSTER, Stefan und SCHUMACHER, Udo: *VOXEL-MAN 3D-Navigator: Inner Organs. Regional, Systemic and Radiological Anatomy*, Springer Verlag, Heidelberg, 2003.

- [HOFFMANN 2000] HOFFMANN, Björn: *Crashkurs Anatomie*, Urban & Fischer Verlag, München, 2000.
- [INSELBERG 1985] INSELBERG, Alfred: „The plane with parallel coordinates“. In: *The Visual Computer*. Bd. 1, Seite 69–92, Springer Verlag, Heidelberg, 1985.
- [ISSING und KLIMSAS 1997] ISSING, Ludwig J. und KLIMSAS, Paul: *Information und Lernen mit Multimedia*. 2. Aufl., Psychologie Verlags Union, Weinheim, 1997.
- [KÖCKERLING und WACLAWICZEK 1999] KÖCKERLING, Ferdinand und WACLAWICZEK, Hans: *Leberchirurgie, Anatomie – Operationstechniken – Komplikationsvermeidung*, Johann Ambrosius Barth Verlag, Heidelberg, 1999.
- [KÜHNAPFEL et al. 2000] KÜHNAPFEL, Uwe; ÇAKMAK, Hüseyin K. und MAASS, Heiko: „Endoscopic surgery training using virtual reality and deformable tissue simulation“. In: *Computers & Graphics*. Bd. 24, Seite 671–682, 2000.
- [KLEMPNAUER und KIP 1997] KLEMPNAUER, Jürgen und KIP, Axel: *Chirurgie der Leber*. Urban & Schwarzenberg Verlag, München, CD-ROM, 1997.
- [LIPPERT 1998] LIPPERT, Hans: *Praxis der Chirurgie*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1998.
- [LIPPERT 2003] LIPPERT, Herbert: *Lehrbuch Anatomie*, Urban & Fischer Verlag, München, 2003.
- [LOEWENECK et al. 2004] LOEWENECK, Hans; FEIFEL, G.; LANZ, Titus von und WACHSMUTH, Werner: *Praktische Anatomie – Bauch*. 1. Aufl., Springer Verlag, Heidelberg, 2004.
- [MADER und STÖCKL 1999] MADER, Günter und STÖCKL, Walter: *Lernen mit interaktiven Medien – Virtuelles Lernen*. 2. Aufl., Studien Verlag, München, 1999.
- [MCCRACKEN 2000] MCCRACKEN, Thomas O.: *Der 3D-Anatomieatlas*, Bechtermünz Verlag, Augsburg, 2000.
- [MEYER et al. 2003] MEYER, Annika; GORLDT, Christian und GRÜBNER, Lars: *Konzeption eines Computer Based Training (CBT) für die präoperative Leberchirurgie*. Bachelor Report an der Universität Bremen. 2003.
- [MOLL und MOLL 2000] MOLL, Karl-Josef und MOLL, Michaela: *Kurzlehrbuch Anatomie*. 16. Aufl., Urban & Fischer Verlag, München, 2000.
- [MUTTER und MARESCAUX 2003] MUTTER, Didier und MARESCAUX, Jaques: *WSCHOLE2 – Laparoscopic cholecystectomy for symptomatic cholelithiasis*. WebSurg – Hôspitaux Universitaires Strasbourg, CD-ROM, 2003.
- [OELTZE 2004] OELTZE, Steffen: *Visualisierung von baumartigen anatomischen Strukturen mit Convolution Surfaces*, Fakultät für Informatik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Diplomarbeit, 2004.

- [OELTZE und PREIM 2004] OELTZE, Steffen und PREIM, Bernhard: „Visualisierung von Gefäßsystemen mit Convolution Surfaces“. In: *Bildverarbeitung für die Medizin (BVM)*, Informatik aktuell, Seite 189–193, Springer Verlag, Heidelberg, 2004.
- [OLDHAFFER et al. 2002] OLDHAFFER, Karl J.; PREIM, Bernhard; DÖRGE, Christina; PEITGEN, Heinz-Otto und BROELSCH, Christoph E.: „Akzeptanz einer computergestützten Operationsplanung in der Viszeralchirurgie – Ergebnisse einer bundesweiten Befragung“. In: *Zentralblatt für Chirurgie*. Bd. 127, Nr. 2, Seite 128–133, 2002.
- [OTTO et al. 1997] OTTO, Gerd; RICHTER, Götz M. und HERFARTH, Christian: „Bedeutung bildgebender Verfahren für die chirurgische Indikationsstellung bei soliden Lebertumoren“. In: *Der Chirurg*. Bd. 68, Nr. 4, Seite 334–345, 1997.
- [PICHLMAYR und LÖHLEIN 2004] PICHLMAYR, Rudolf und LÖHLEIN, Dietrich: *Chirurgische Therapie – Richtlinien zur prä-, intra- und postoperativen Behandlung in der Allgemeinchirurgie*. 3. Aufl., Springer Verlag, Heidelberg, 2004.
- [PREIM et al. 2003] PREIM, Bernhard; HINDENNACH, Milo; SCHENK, Andrea; LITTMANN, Arne; SPINDLER, Wolf und PEITGEN, Heinz-Otto: „Visualisierungs- und Interaktionstechniken für die Planung lokaler Therapien“. In: *Simulation & Visualisierung (SimVis)*, Seite 237–248, SCS Europe, 2003.
- [PREIM und RITTER 2002] PREIM, Bernhard und RITTER, Felix: „Techniken zur Hervorhebung von Objekten in medizinischen 3D-Visualisierungen“. In: *Simulation & Visualisierung (SimVis)*, Seite 187–200, SCS Europe, 2002.
- [PRIESCHING 1986] PRIESCHING, Alfred: *Leberresektionen. Chirurgische Anatomie, Indikationen, Technik*. 1. Aufl., Urban & Schwarzenberg Verlag, München, 1986.
- [RIEDEL et al. 2000] RIEDEL, Jens; SINGER, Reiner; HEID, Jörn und LEVEN, Franz J.: „CAMPUS: Ein simulatives und flexibles fallbasiertes web-based Training System für die medizinische Ausbildung“. In: *Rechnergestützte Lehr- und Lernsysteme in der Medizin, 5. Workshop*, GMDS AG, Seite 107–112, Shaker Verlag, Aachen, 2000.
- [SCHNIDER und METZGER 2002] SCHNIDER, Annelies und METZGER, Urs: „Chirurgie der Lebermetastasen“. In: *Swiss Medical Forum*. Nr. 49, Seite 1171–1176, 2002.
- [SCHREIBER 1998] SCHREIBER, Alfred: *CBT-Anwendungen professionell entwickeln*. 1. Aufl., Springer Verlag, Heidelberg, 1998.
- [SCHULMEISTER 2002] SCHULMEISTER, Rolf: *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme: Theorie – Didaktik – Design*. 3. Aufl., R. Oldenbourg Verlag, München, 2002.
- [SCHULZ et al. 1999] SCHULZ, S.; KLAR, R.; AUHUBER, T.; SCHRADER, U.; KOOP, A.; KREUTZ, R.; OPPERMANN, R. und SIMM, H.: „Qualitätskriterien für Elektronische Publikationen in der Medizin“. In: *Rechnergestützte Lehr- und Lernsysteme in der Medizin, 4. Workshop*, GMDS AG, Seite 131–143, Shaker Verlag, Aachen, 1999.
- [SCHUMPELICK et al. 2004] SCHUMPELICK, Volker; BLEESE, Niels M. und MOMMSEN, Ulrich: *Kurzlehrbuch Chirurgie*. 6. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2004.

- [SEEBER und SCHÜTTE 2003] SEEBER, Siegfried und SCHÜTTE, Jochen: *Therapiekonzepte Onkologie*. 4. Aufl., Springer Verlag, Heidelberg, 2003.
- [SELLE et al. 2002] SELLE, Dirk; PREIM, Bernhard; SCHENK, Andrea und PEITGEN, Heinz-Otto: „Analysis of Vasculature for Liver Surgery Planning“. In: *IEEE Transactions on Medical Imaging*. Bd. 21, Seite 1344–1357, IEEE Computer Society Press, 2002.
- [SOLER et al. 2001] SOLER, Luc; DELINGETTE, Herve; MALANDIN, Gregoire; MONTAGNATB, Johan; AYACHEB, Nicholas; KOEHLA, Christophe; DOURTHEB, Olivier; MALASAGNEA, Benoit; SMITH, Michelle; MUTTERA, Didier und MARESCAUXA, Jacques: „Fully automatic anatomical, pathological and functional segmentation from CT scans for hepatic surgery“. In: *Computer-Aided Surgery*. Bd. 6, Seite 131–142, 2001.
- [STROTHOTTE und SCHLECHTWEG 2002] STROTHOTTE, Thomas und SCHLECHTWEG, Stefan: *Non-photorealistic Computer Graphics*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 2002.
- [TIETJEN 2004] TIETJEN, Christian: *Evaluierung und Modifikation von Methoden zur Generierung von Liniengraphiken in der medizinischen Visualisierung*, Fakultät für Informatik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Diplomarbeit, 2004.
- [WENDT 2002] WENDT, Matthias: *CBT und WBT konzipieren, entwickeln, gestalten*, Carl Hanser Verlag, München, 2002.

Diagramme

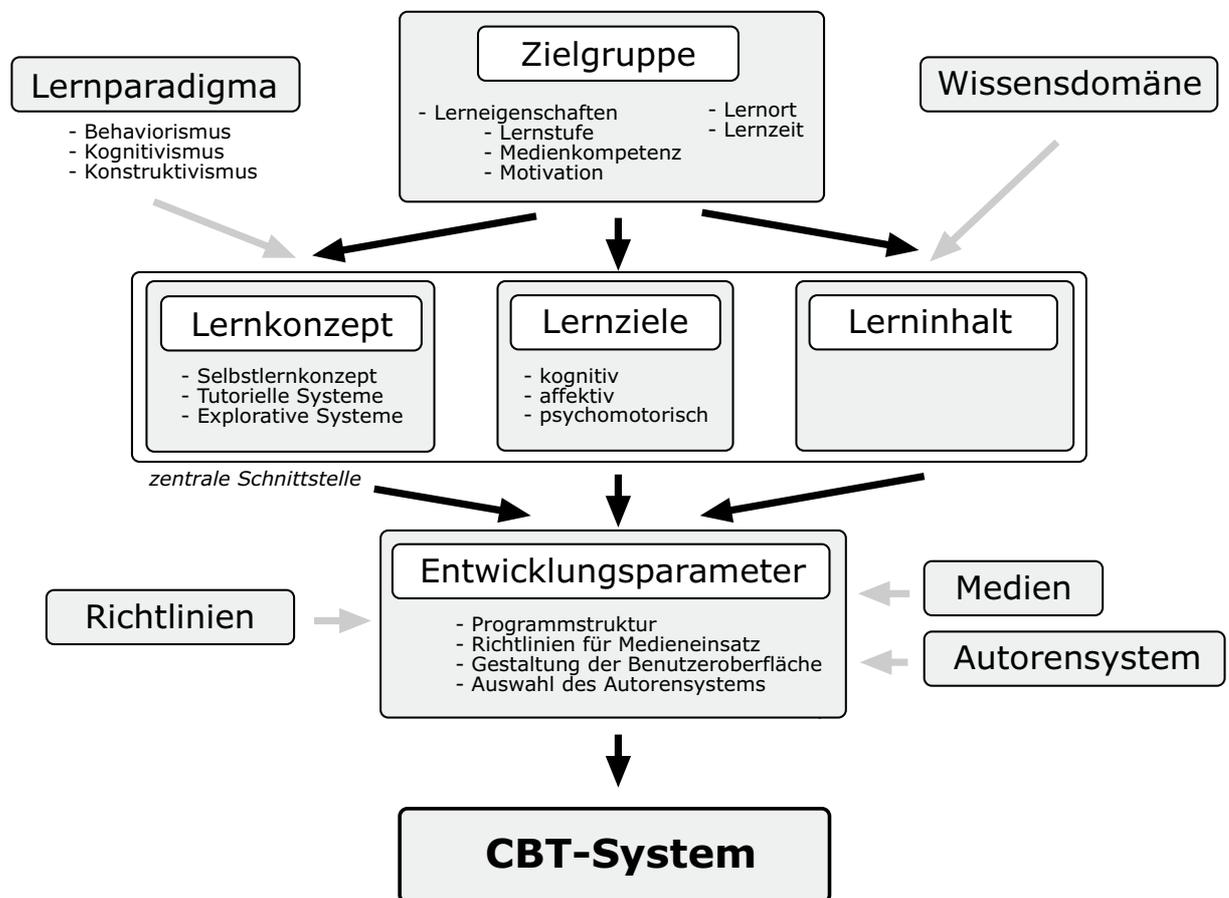


Abbildung A.1: Entscheidungsaspekte bei der Lernsoftware-Entwicklung. Sowohl die lerntheoretischen und lerninhaltlichen Aspekte als auch die Anforderungen der Zielgruppe sind Grundlage eines CBT-Systems.

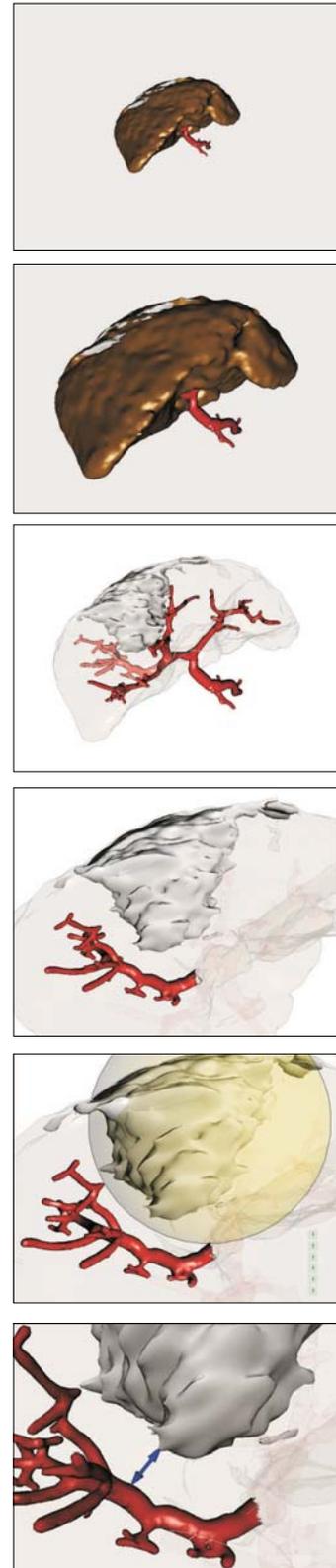
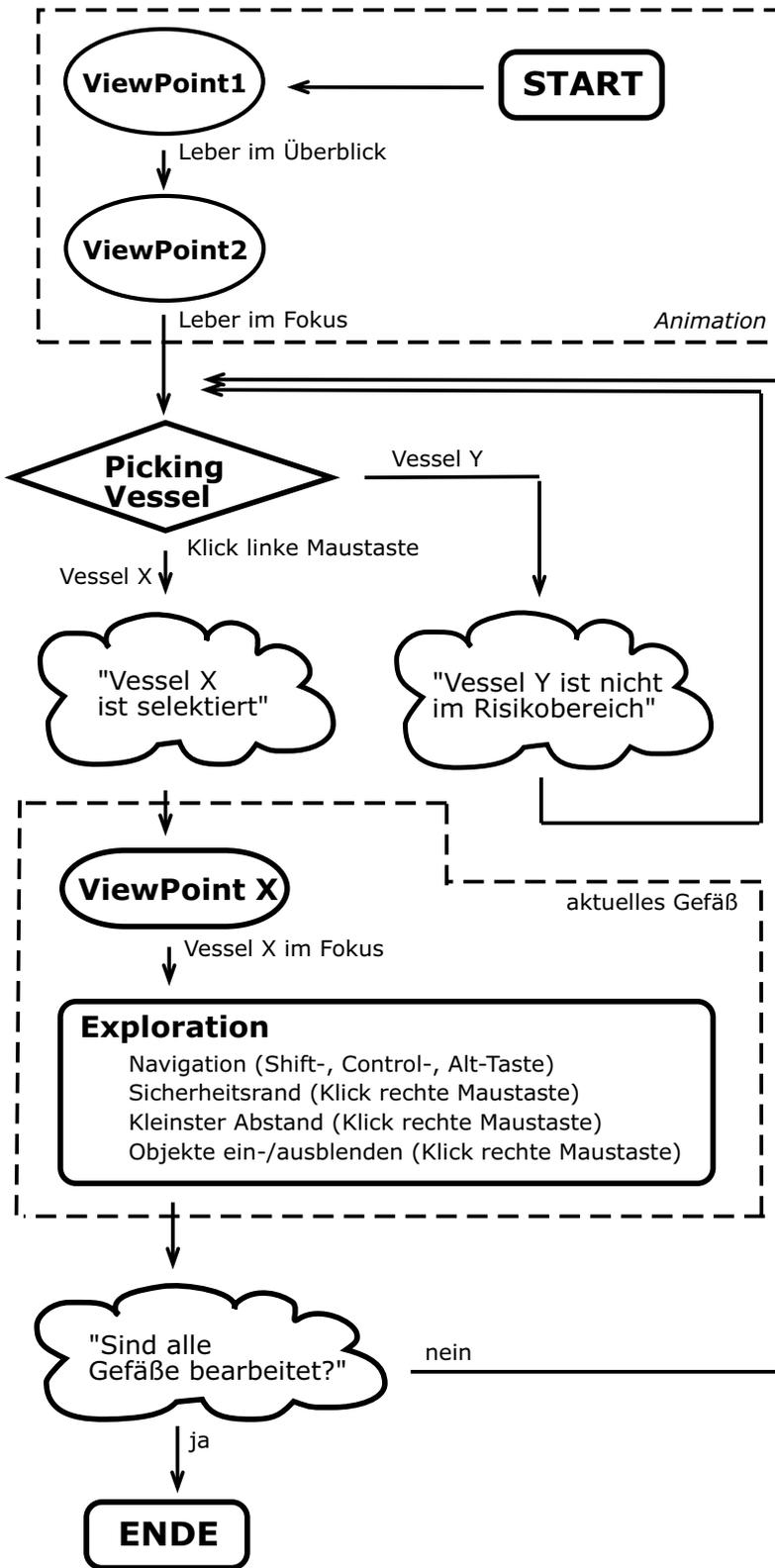


Abbildung A.2: Lernschritt „Infiltration von Gefäßen“ in der Lerneinheit „Resektabilität“ als Flussdiagramm.

Fragebogen

FRAGEBOGEN

zur Verwendung computergestützter
Visualisierungstechniken für die medizinische Ausbildung

**Christian Tietjen & Sebastian Mirschel &
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Preim
23. April 2004**



Sehr geehrte Damen und Herren,

in der Arbeitsgruppe Visualisierung beschäftigen wir uns mit computergestützten Visualisierungstechniken für die medizinische Ausbildung (Anatomie, Chirurgie) und erbitten Ihre Meinung zu ausgewählten Beispielbildern. Trotz des Umfangs gehen wir davon aus, dass der Fragebogen in 15-20 Minuten ausgefüllt werden kann.

Es kommt uns darauf an, Bildinhalte möglichst gut zu vermitteln. Die Ihnen vorliegenden Bilder sind einer interaktiven 3d-Darstellung entnommen, in der die Inhalte frei bewegt werden können. Sie spiegeln das wieder, was zurzeit technisch möglich ist. Die Befragung dient dazu, geeignete Techniken zu identifizieren, um sie in fallbasierte Lernsysteme zu integrieren.

Auf jeder Seite werden Ihnen zwei Bilder präsentiert. Dazu gibt es zwei Frage-Antwort-Typen. Zum einen erfragen wir Ihre Präferenz bei einer gegebenen Fragestellung. Zum anderen erfragen wir eine Bewertung auf einer Skala (-, -, 0, +, ++). Die Fragen beziehen sich immer auf den direkten Vergleich der Bilder.

Sollte Ihnen etwas auffallen, was von unseren Fragen nicht erfasst wird, bitten wir Sie, dies zu vermerken oder auch direkt im Bild einzuzichnen. Am Ende des Fragebogens werden wir Sie bitten, das Bild zu prämiieren, das Ihnen am besten gefallen hat.

Wir möchten uns ganz herzlich für Ihre Mühe bedanken.

Sebastian Mirschel & Christian Tietjen & Prof. Dr.-Ing. Bernhard Preim

Zu Beginn möchten wir Ihnen einige persönliche Fragen stellen.

Wie alt sind Sie? Jahre

Geschlecht? männlich weiblich

Sind Sie Facharzt?

Welche Gebietsbezeichnung haben Sie?

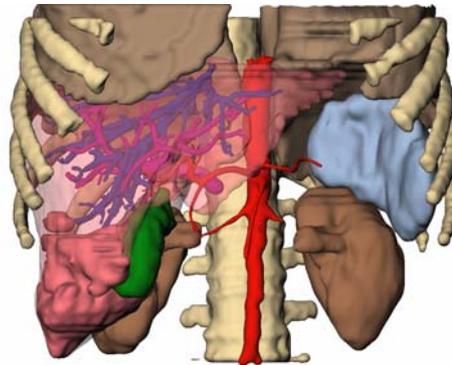
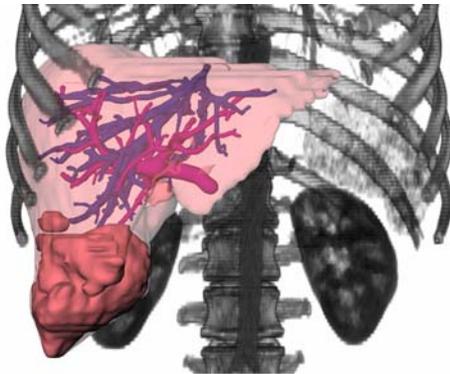
Wie würden Sie Ihre Erfahrung im Umgang mit dem PC einstufen?
sehr wenig (-) bis sehr gut (++)

Wie würden Sie Ihre Erfahrung im Umgang mit 3D-Anwendungen einstufen?
sehr wenig (-) bis sehr gut (++)

Wie schätzen Sie die Wichtigkeit der nachfolgenden extrahepatischen Strukturen in einer leberspezifischen Fragestellung ein? Von irrelevant (-) bis zwingend notwendig (++):

	-	0	++
Wirbelsäule	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rippen rechts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rippen links	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lunge rechts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lunge links	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Niere rechts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Niere links	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aorta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gallenblase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Milz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Welche Strukturen sind bei leberspezifischen Fragestellungen zusätzlich relevant?



Welches Bild gefällt Ihnen auf den ersten Blick besser?

links

rechts

-- ++

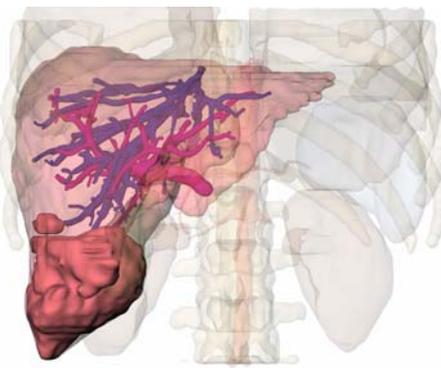
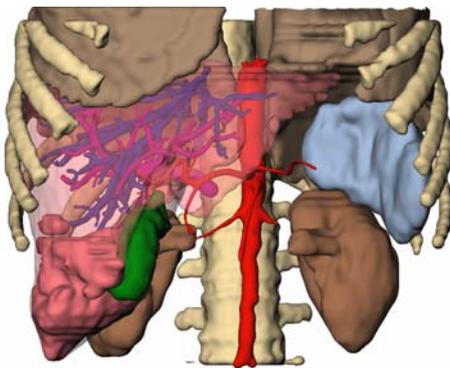
-- ++

Wie gut sind die extrahepatischen Strukturen untereinander differenzierbar?
(gar nicht (-) bis sehr gut (++))

Wie gut ist die Leber mit ihren intrahepatischen Strukturen von den umgebenden Strukturen zu unterscheiden? (gar nicht (-) bis sehr gut (++))

Mit welchem Bild würden sie sich auf eine Tumorresektion vorbereiten wollen?

3 von 14



Welches Bild gefällt Ihnen auf den ersten Blick besser?

links

rechts

-- ++

-- ++

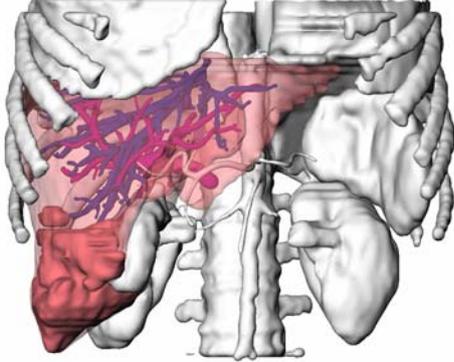
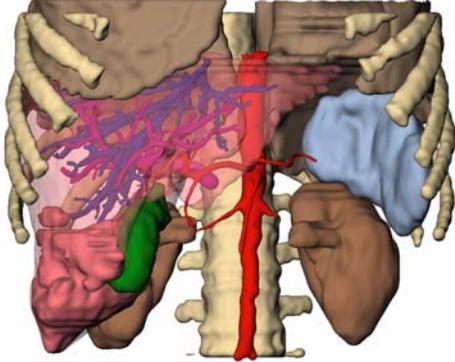
Können Sie die Lagebeziehungen zwischen der Milz und dem linken Lungenflügel erkennen?
(nein, überhaupt nicht (-) bis ja, sehr gut (++))

Wie gut ist die Leber mit ihren intrahepatischen Strukturen von den extrahepatischen Strukturen zu unterscheiden? (gar nicht (-) bis sehr gut (++))

Wie gut sind die extrahepatischen Strukturen untereinander zu differenzieren?
(gar nicht (-) bis sehr gut (++))

Mit welchem Bild würden sie sich auf eine Tumorresektion vorbereiten wollen?

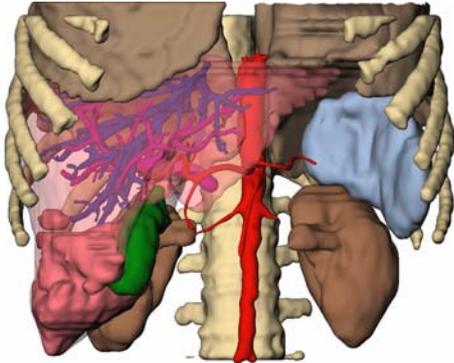
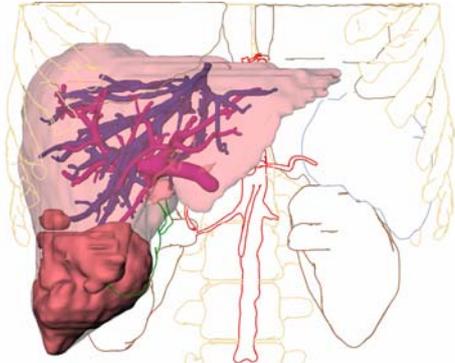
4 von 14

Welches Bild gefällt Ihnen auf den ersten Blick besser?

	□ links		□ rechts		□ rechts
Wie gut sind die extrahepatischen Strukturen untereinander differenzierbar? (gar nicht (--) bis sehr gut (++))	--	++	--	++	--
Erscheint Ihnen die Aorta zu aufdringlich? (überhaupt nicht (--) bis sehr aufdringlich(++))	□ □ □ □ □		□ □ □ □ □		□ □ □ □ □
Wie gut ist die Leber von den umgebenden Strukturen zu unterscheiden? (gar nicht (--) bis sehr gut (++))	□ □ □ □ □		□ □ □ □ □		□ □ □ □ □
Mit welchem Bild würden sie sich auf eine Tumorresektion vorbereiten wollen?	□		□		□

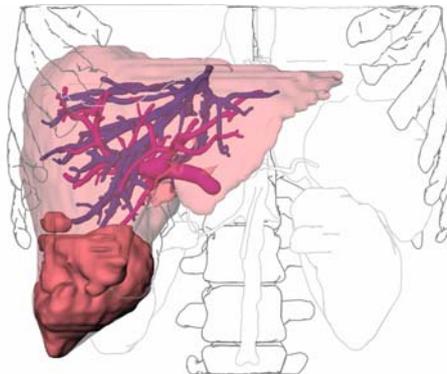
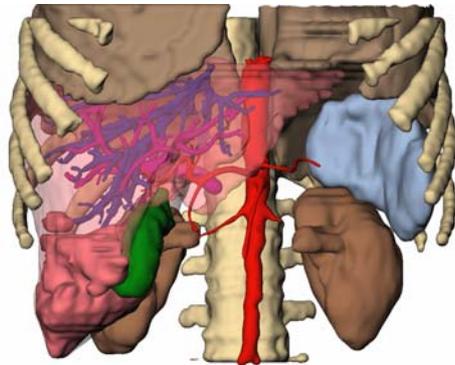
5 von 14

Welches Bild gefällt Ihnen auf den ersten Blick besser?

	□ links		□ rechts		□ rechts
Wie aufdringlich finden sie die Aorta? (gar nicht aufdringlich--) bis sehr aufdringlich(++))	--	++	--	++	--
Wie gut lassen sich die extrahepatischen Strukturen unterscheiden? (gar nicht (--) bis sehr gut (++))	□ □ □ □ □		□ □ □ □ □		□ □ □ □ □
Wie gut ist die Differenzierung zwischen intra- und extrahepatischen Strukturen? (sehr schlecht (--) bis sehr gut (++))	□ □ □ □ □		□ □ □ □ □		□ □ □ □ □
Mit welchem Bild würden sie sich auf eine Tumorresektion vorbereiten wollen?	□		□		□

6 von 14



Welches Bild gefällt Ihnen auf den ersten Blick besser?

Im linken Bild behindern einige Organe die Sicht auf die Leber. Im rechten Bild ist die Sicht freigegeben. Dafür ist z.B. der Verlauf des rechten Lungenflügels schwer zu erkennen.

Sind die extrahepatischen Strukturen ausreichend dargestellt, um die Lage der Leber beurteilen zu können? (gar nicht (--) bis sehr gut (++))

Sind ihrer Meinung nach für eine freie Sicht auf die Leber Veränderungen der Darstellung der extrahepatischen Strukturen wünschenswert? (überhaupt nicht (--) bis auf jeden Fall (++))

Mit welchem Bild würden sie sich auf eine Tumorresektion vorbereiten wollen?

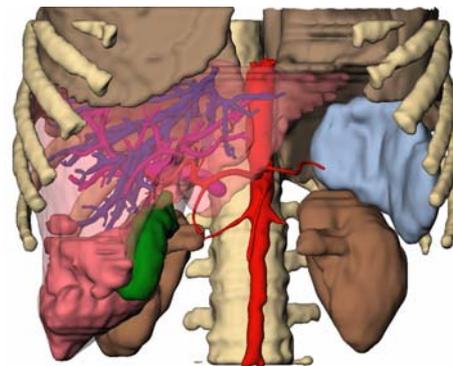
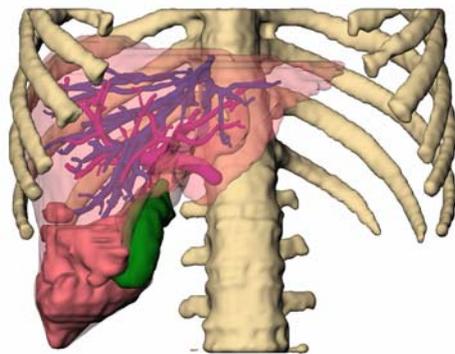
links

rechts

-- ++

-- ++

7 von 14



Welches Bild gefällt Ihnen auf den ersten Blick besser?

Im linken Bild treten die hinteren Rippenbögen deutlich mehr hervor, da sie nicht überdeckt werden.

Wie gut ist die Leber von den umgebenden Strukturen differenzierbar? (gar nicht (--) bis sehr gut (++))

Wie schätzen Sie die Übersichtlichkeit der extrahepatischen Strukturen ein? (sehr unübersichtlich (--) bis sehr übersichtlich (++))

Mit welchem Bild würden sie sich auf eine Tumorresektion vorbereiten wollen?

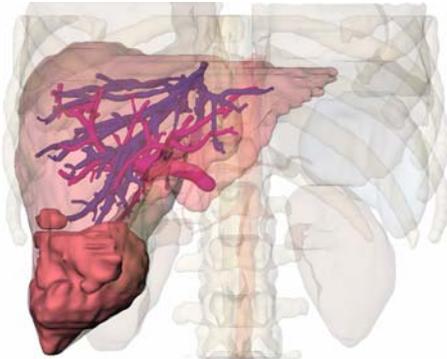
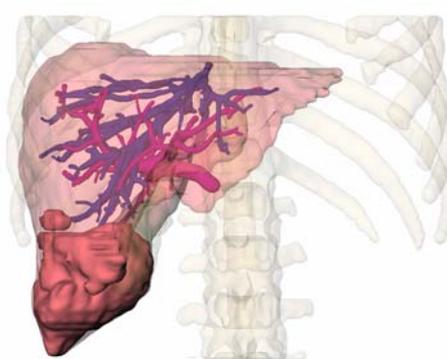
links

rechts

-- ++

-- ++

8 von 14

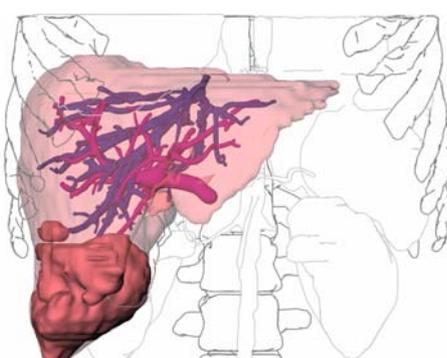
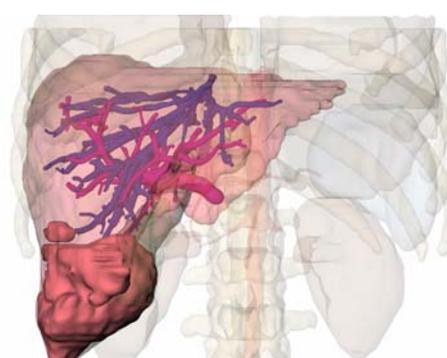



Welches Bild gefällt Ihnen auf den ersten Blick besser?

Im rechten Bild sind nur Gallenblase und Knochen als umgebende Strukturen dargestellt.

	□ links		□ rechts		□ rechts
	--	++		--	++
Können Sie die Lage der Leber in Relation zum Brustkorb einschätzen? (nein, überhaupt nicht (--) bis ja, sehr gut (++))	□ □ □ □ □			□ □ □ □ □	
Wie gut ist die Leber von den umgebenden Strukturen zu unterscheiden? (gar nicht (--) bis sehr gut (++))	□ □ □ □ □			□ □ □ □ □	
Wie gut sind die verbleibenden extrahepatischen Strukturen untereinander differenzierbar? (sehr schlecht (--) bis sehr gut (++))	□ □ □ □ □			□ □ □ □ □	
Mit welchem Bild würden sie sich auf eine Tumorresektion vorbereiten wollen?	□			□	

9 von 14

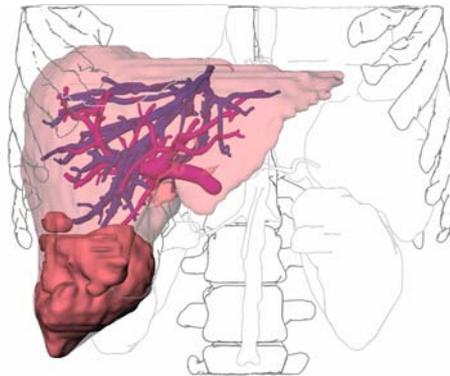
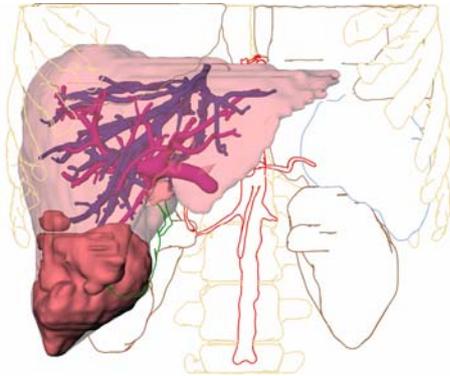



Welches Bild gefällt Ihnen auf den ersten Blick besser?

Auf dieser Seite geht es um die direkte Gegenüberstellung der beiden Visualisierungstechniken.

	□ links		□ rechts		□ rechts
	--	++		--	++
Wie gut ist die Leber von den umgebenden Strukturen zu unterscheiden? (gar nicht (--) bis sehr gut (++))	□ □ □ □ □			□ □ □ □ □	
Können Sie die Lage der Leber zum Brustkorb einschätzen? (nein, überhaupt nicht (--) bis ja, sehr gut (++))	□ □ □ □ □			□ □ □ □ □	
Wie gut sind die extrahepatischen Strukturen untereinander differenzierbar? (gar nicht (--) bis sehr gut (++))	□ □ □ □ □			□ □ □ □ □	
Mit welchem Bild würden sie sich auf eine Tumorresektion vorbereiten wollen?	□			□	

10 von 14



Welches Bild gefällt Ihnen auf den ersten Blick besser?

links

rechts

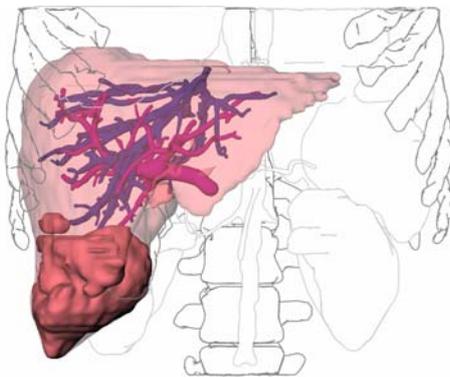
-- ++

-- ++

Wie gut ist die Leber von den umgebenden Strukturen zu unterscheiden?
(gar nicht (--) bis sehr gut (++))

Mit welchem Bild würden sie sich auf eine Tumorresektion vorbereiten wollen?

11 von 14



Welches Bild gefällt Ihnen auf den ersten Blick besser?

links

rechts

-- ++

-- ++

Bei diesen beiden Darstellungen wurden Knochen und Gallenblase auf verschiedene Weisen hervorgehoben.

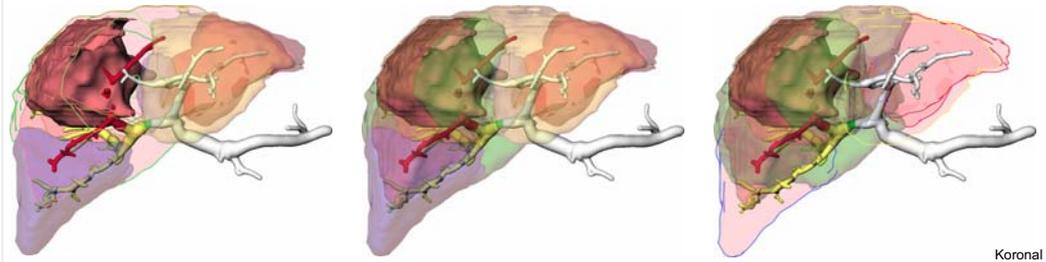
Wie gut ist die Leber von den umgebenden Strukturen zu unterscheiden?
(sehr schlecht (--) bis sehr gut (++))

Wie gut sind die extrahepatischen Strukturen untereinander differenzierbar?
(gar nicht (--) bis sehr gut (++))

Mit welchem Bild würden sie sich auf eine Tumorresektion vorbereiten wollen?

12 von 14

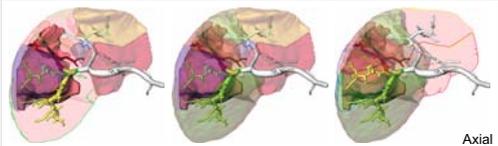
B Fragebogen



Koronal



Sagittal



Axial

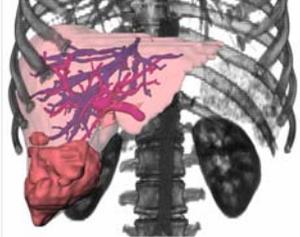
Welche Darstellungsart gefällt Ihnen auf den ersten Blick besser?

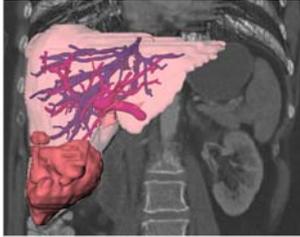
Drei unterschiedliche Darstellungsarten in den drei Standardschnittrichtungen:

Links: Infiltrierte Couinaud-Segmente wurden mit Silhouetten dargestellt.
 Mitte: Alle Gebiete wurden transparent dargestellt.
 Rechts: Infiltrierte Couinaud-Segmente wurden transparent dargestellt.

	links	mittig	rechts
Inwieweit stören Sie die transparenten Gebiete bei der Sicht auf den Tumor? (gar nicht (--) bis sehr stark (++)	-- ++ <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	-- ++ <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	-- ++ <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Wie hilfreich schätzen Sie die Abgrenzung der Segmente durch Silhouetten ein? (gar nicht (--) bis sehr hilfreich (++)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Mit welchem Bild würden sie sich auf eine Tumorresektion vorbereiten wollen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

13 von 14





Welches Bild gefällt Ihnen auf den ersten Blick besser?

	links	mittig	rechts
Wie gut ist die räumliche Lage der extrahepatischen Strukturen einzuschätzen? (gar nicht (--) bis sehr gut (++)	-- ++ <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	-- ++ <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	-- ++ <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Wie gut sind die extrahepatischen Strukturen untereinander differenzierbar? (gar nicht (--) bis sehr gut (++)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Wie gefällt Ihnen die Darstellung des rechten Rippenbogens in Relation zur Leber? (gar nicht (--) bis sehr gut (++)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Mit welchem Bild würden sie sich auf eine Tumorresektion vorbereiten wollen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Zum Abschluss möchten wir Sie noch bitten,
 das beste Bild des gesamten Fragebogens zu prämiieren!!!**
 ~ Ihren Favoriten einfach gut kenntlich einkreisen ~

Nochmals vielen Dank für die Zeit, die Sie für uns investiert haben.

14 von 14