

Aus dem Institut für Tieranatomie
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl für Systematische und Topographisch-klinische Anatomie
Vorstand: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. H.-G. Liebich

„INSIDEDOG: THE HEAD“

Virtuelle Realität in der Veterinäranatomie

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von

Nicolas Blanck

aus

Wattenscheid

München 2003

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. R. Stolla
Referent: Univ.-Prof. Dr. Dr.hc.mult. H.-G. Liebich
Korreferent: Univ.-Prof. Dr. J. Hirschberger

Tag der Promotion: 18. Juli 2003

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Glossar	IV
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	2
2.1 Traditionelle Lehr- und Lernmethoden in der tiermedizinischen, anatomischen Ausbildung	2
2.2 Computergestütztes Lernen und Lernsoftware.....	3
2.2.1 Begriffsbestimmung.....	3
2.2.2 Multimedia, Interaktivität, Hypertext und Hypermedia in Lernsoftware	3
2.2.2.1 Multimedia	3
2.2.2.2 Interaktivität.....	4
2.2.2.3 Hypertext und Hypermedia.....	5
2.2.3 Lernsoftware-Typologien.....	6
2.2.3.1 Präsentations- und Visualisierungssoftware.....	7
2.2.3.2 Drill- und Testsoftware.....	7
2.2.3.3 Tutorensysteme	7
2.2.3.4 Simulationen	8
2.2.3.5 Mikrowelten	8
2.3 Lernprogramme in der Humananatomie und der Veterinärmedizin	9
2.3.1 Humananatomie	9
2.3.2 Veterinärmedizin	11
2.3.2.1 Veterinäranatomische Lernprogramme.....	12
2.3.2.1.1 Das „Visible Animal Project“	15
2.4 Vorteile dreidimensionaler Computermodelle gegenüber anderen Visualisierungstechniken.....	17
3 Material und Methoden	19
3.1 Datensätze	19
3.1.1 Angleichen der zwei Datensätze zu einem Gesamtgefüge (Matching)	20
3.2 Arbeiten im <i>VOXEL-MAN</i> -System	22
3.2.1 Segmentation und Klassifikation der anatomischen Strukturen	22

3.2.1.1	Segmentation im CT-Datensatz.....	22
3.2.1.2	Segmentation im Kryodatensatz.....	26
3.2.1.3	Klassifikation und Speicherung	28
3.2.2	Visualisierungen.....	28
3.2.2.1	Erstellen der Virtual-Reality-Animationen (VR): “Intelligent Movies“	30
3.2.2.2	Erstellen der Hintergrundinformation.....	31
3.3	Einbindung in die Programmoberfläche <i>InsideDOG</i>	31
4	Ergebnisse	32
4.1	Labelvolumen.....	32
4.2	Das Lernprogramm <i>InsideDOG: The Head</i>	33
4.2.1	Movie-List	33
4.2.2	Intelligent Movie-Viewer.....	34
4.2.3	List.....	38
4.2.4	Knowledge Base	38
4.2.5	Benutzerhinweise.....	38
5	Diskussion.....	39
5.1	Nutzung des „Visible Animal Project“ zur Erstellung des Lernprogramms	39
5.2	Segmentation der Datensätze	40
5.3	Das Lernprogramm <i>InsideDOG: The Head</i>	42
5.3.1	Intelligent Movie	43
5.3.2	Strukturidentifizierung, Knowledge Base, List	47
5.4	Weitere Anwendungsmöglichkeiten des segmentierten Datenvolumens	48
6	Schlussfolgerung.....	51
7	Zusammenfassung	52
8	Summary	53
	Abbildungsverzeichnis	54
	Tabellenverzeichnis	56
	Literaturverzeichnis.....	57

Abkürzungsverzeichnis

CD-ROM	Compact Disc – Read Only Memory
IMDM	Institut für Mathematik und Datenverarbeitung in der Medizin
MHz	Megahertz
PC	Personal Computer
QTVR	QuickTime Virtual Reality
RGB	Red-Green-Blue (Rot-Grün-Blau)
TAppO	Approbationsordnung für Tierärztinnen und Tierärzte
UID	Unique IDentifier
VAP	Visible Animal Project
VHP	Visible Human Project
VR	Virtual Reality (Virtuelle Realität)

Glossar

(06.04.03)	Zusatzinformation für Internetverweise. An diesem Tag war die jeweilige Internetadresse aktiv.
Bit	Kleinste Einheit der Digital-Technik. Ein Bit kann nur zwei logische Zustände einnehmen: 0 oder 1.
Boole'sche Operationen	Boole'sche Algebra: Algebra der Logik. Definiert die Gesetze der Aussagenlogik. Nur zwei Zustände können eintreten: richtig oder falsch. Die Kombination falsch-richtig ist nicht möglich. In diesem Zusammenhang werden Boole'sche Operatoren in Sinne einer Mengenlehre eingesetzt. NOT definiert alle Voxel/Pixel, die nicht in der ausgewählten Menge sind. AND definiert alle Voxel/Pixel, die in zwei Mengen gleichzeitig vorkommen. OR die Voxel/Pixel, die entweder in der einen oder anderen Menge beinhaltet sind. XOR aktiviert alle Voxel/Pixel, die weder in der einen, noch in der anderen Menge vorkommen.
Button	Taste in Computerprogrammen.
Byte	Setzt sich aus 8 Bit zusammen und kann 256 logische Zustände kodieren.
CD-ROM	„Compact Disc – Read Only Memory“. Optisches Speichermedium. Im Gegensatz zu den neueren DVDs (Digital Versatile Disc) sind herkömmliche CD-ROMs nur einmal beschreibbar. Die durchschnittliche Speicherkapazität beträgt 650 MB.
digital	Daten oder Messwerte in Ziffern, das heißt in Schritten darstellend; im Gegensatz. zu analog, stufenlos, stetig.
GB	Gigabyte. Entspricht 1024 MB.
Hardware	Die physikalischen Bestandteile eines Computersystems, einschließlich aller peripherer Einrichtungen, wie zum Beispiel Drucker, Bildschirm, Tastatur und Maus.
Ikon	Ikon ist ein kleines einfaches Bild oder Symbol, das in Computeranwendungen oder graphischen Benutzerschnittstellen integriert ist. Ikons sollen beispielsweise Befehle oder Anwendungen graphisch visualisieren und eventuell Operationen aktivieren.
Internet	Weltweit größtes Kommunikationsnetz.
Interpolieren	Werte zwischen bekannten Werten errechnen.
isotrop	Nach allen Richtungen hin gleiche Eigenschaften aufweisend.
KB	Kilobyte. Entspricht 1024 Byte.
Konditionierung	Das Ausbilden bedingter Reaktionen bei Mensch od. Tier, wobei eine Reaktion auch dann eintritt, wenn an Stelle des ursprünglichen Auslösereizes ein zunächst neutraler Reiz tritt.
Kompilieren	Der Programmcode wird in eine dem Computer verständliche Syntax übersetzt (Machinesprache). Ergebnis wäre z.B. eine Exe-Datei.
Kryoschnittbild	Schnittbild eines gefrorenen Objektes. Aufgrund des vorangegangenen Gefrierprozesses lassen sich auch relativ weiche Objekte gut schneiden.
Main Frame	Hauptfenster einer Windowsanwendung. Beim Schließen dieses Fensters wird die gesamte Applikation beendet.
Maus	Interface (Eingabemodul/Verbindung) zum Computer. Mit der Maus wird die Position des Zeigers im Bildschirm gesteuert sowie spezielle Aktionen mittels Mausclick ausgeführt.
MB	Megabyte. Entspricht 1024 KB.
PC	Personal Computer

Pixel	Aus P icture e lements: Die durch Aufrasterung eines Bildes entstehenden Bildpunkte, die digitalisiert von einem Computer verarbeitet werden können. Mit der Anzahl der Pixel je Flächeneinheit steigt die Abbildungsgenauigkeit.
Popup Menü	Menü, das nicht an eine Menü-Leiste gekoppelt ist. Bei einem Mausklick springt (pop up) das Menü an der Position der Maus auf.
QTVR (Quick-Time VR)	Von Apple™ eingeführtes Format zur Darstellung von dreidimensionalen Objekten und Räumen. Der Name ist jedoch irreführend, denn es sind keine richtigen virtuellen Welten möglich. Eine Modellierung der Szene ist nicht vorgesehen und es besteht keine wirkliche Bewegungsfreiheit des Betrachters. Mit der Maus oder per Tastatur kann man das Objekt bewegen. Der Inhalt besteht aus einzelnen z.B. mit einer Kamera aufgenommenen Bildern, die zu einem 3D-Modell zusammengefügt werden.
Rendering	Engl. to render: wiedergeben. Bezeichnung für den Rechenvorgang bei der 3D-Rekonstruktion virtueller Szenen.
RGB	Red-Green-Blue. Bezeichnung für das Farbtuple bei Echtfarbbildern. Die Mischung aus den drei Farbanteilen ergibt die Farbe am jeweiligen Bildpunkt.
Scrollen	Das Verschieben des angezeigten Seitenabschnitts mit der Maus, wenn die Seite für eine gesamte Abbildung auf dem Bildschirm zu groß ist.
Software	Computerprogramm.
Task-Leiste	Engl. task: Aufgabe. Leiste mit bebilderten Steuerelementen, die Zugriff auf bestimmte Programmodule ermöglichen.
True-Colour	Echtfarbbild. Meist 24Bit Farbauflösung (ca. 16 Mio. Farben). Optisch ist kein Unterschied zur Wirklichkeit zu erkennen.
Tupel	Menge an Werten bzw. Variablen, die in direktem Zusammenhang stehen. Die drei Weltkoordinaten X, Y und Z sind ein Tupel.
Volumendatensatz	Datensatz aus einer Folge zweidimensionaler Schnittbilder bestehend
Voxel	Aus V olume P ixel: Ein Voxel hat im Gegensatz zum flächigen Pixel noch eine räumliche Ausdehnung in Richtung der Z-Achse.

1 Einleitung

In der Humanmedizin werden zur Darstellung des menschlichen Körpers und seiner inneren Strukturen schon seit langem dreidimensionale Computermodelle zur Visualisierung anatomischer Strukturen eingesetzt. Demgegenüber sind dreidimensionale Darstellungen im veterinärmedizinischen Bereich kaum anzutreffen.

Mit dem „Visible Animal Project“ (VAP) (Böttcher, 2000) stehen der Tiermedizin erstmals hochauflösende, digitale Volumendatensätze eines Hundes zur Verfügung, die die realistische 3D-Rekonstruktion anatomischer Strukturen ermöglichen. Die von BÖTTCHER (2000) entwickelte Benutzeroberfläche *InsideDog* erlaubt die Erstellung anatomischer Lernprogramme, ohne dass Vorkenntnisse in Programmierung beim Entwickler vorausgesetzt werden.

In dieser Arbeit soll das bisher nur ansatzweise erprobte Visualisierungs-Potential der Datensätze des „Visible Animal Project“ erkundet werden. Das Ziel dabei ist es einen 3D-Atlas der kaninen Hals- und Kopfanatomie zu erstellen, der Studierenden topographische Zusammenhänge vermittelt und ihnen hilft, bereits angeeignetes Wissen zu vertiefen.

2 Literaturübersicht

2.1 Traditionelle Lehr- und Lernmethoden in der tiermedizinischen, anatomischen Ausbildung

Die Vermittlung des Lehrstoffes in der tiermedizinischen, anatomischen Ausbildung erfolgt überwiegend in Form kombinierter Lehrveranstaltungen, die als Vorlesungen und Übungen angeboten werden. Vorlesungen dienen der Darstellung von Konzepten und der intellektuellen Anregung der Studierenden (Rother, 1998). Sie sollen den Studenten dabei helfen einen Überblick über den in den letzten fünfzig Jahren nahezu unüberschaubar angewachsenen Wissensstoff (König und Liebich, 1999a) zu bekommen. Präparierübungen vermitteln Studenten eine gute Vorstellung von topographischen Zusammenhängen (Pommert et al., 1994a). Dieses Verfahren wird jedoch durch steigende Studentenzahlen, sinkenden Lehretat (Schoner, 1999; Hofmann, 1998; Pschorn, 1998; Ellis und Michell, 1993; Longstaffe, 1993), Reduzierung der im Lehrplan vorgesehenen Zeit für anatomische Kurse (TAppO, 1999; TAppO, 1986) und aus tierschutzrechtlichen Interessen immer mehr in Frage gestellt (Provo et al., 1996).

Neben dem Besuch dieser Pflicht-Lehrveranstaltungen erfolgt ein Großteil des theoretischen Wissenserwerbes anhand des Studiums von Literatur (Pommert et al., 1994a). Das Lernen von Fakten, besonders der Vorgang des Memorierens von Nomenklatur und Topographie, macht den Hauptteil des anatomischen Selbststudiums aus. Üblicherweise versuchen Studenten das Erlernte anhand von beschriftetem Bildmaterial zu trainieren (Böttcher, 2000). So sind seit Leonardo da Vinci Zeichnungen die Grundlage für anatomische Studien, weil sie die für didaktische Zwecke notwendige Mischung aus realistischer und abstrakter Darstellung erlauben (Tiede et al., 1996). In neueren Atlanten werden diese Zeichnungen durch Photographien von Sektionen und anatomischen Schnittbildern ergänzt. Ihr Vorteil liegt in ihrer anatomischen Genauigkeit und Detailtreue (Han und Kim, 1995). Des weiteren werden Abbildungen moderner bildgebender Verfahren wie z.B. Röntgen, Sonographie, CT oder MRT von einigen Autoren (Boyd und Paterson, 2001; Budras et al., 2000; König und Liebich, 1999a; König und Liebich, 1999b) zusätzlich zur Förderung des medizinisch anatomischen Verständnisses integriert. Für das Selbststudium stehen die Sammlungen der jeweiligen anatomischen Institute während der Öffnungszeiten den Studenten zur Verfügung. Hier können unter anderem Knochen, Präparate und plastische Modelle entliehen, sowie Schaupräparate und Videofilme studiert werden¹.

¹ <http://www.vu-wien.ac.at/i101/selbststudium.htm> (06.04.03)

2.2 Computergestütztes Lernen und Lernsoftware

2.2.1 Begriffsbestimmung

Im Themenkreis „Computer und Lernen“ existiert eine Vielzahl von Begriffen, die meist mehr oder weniger synonym verwendet werden: Computerunterstütztes Lernen (CUL), Computer Assisted Instruction (CAI), Computerunterstützter Unterricht (CUU), Computer Based Training (CBT), Computer Based Instruction (CBI), Teachware u.a.. Unter diesen Bezeichnungen werden verschiedene Formen des Computereinsatzes für Bildungszwecke zusammengefasst (Stiller, 2000). Geringe Bedeutungsunterschiede ergeben sich aus der Sichtweise. Je nachdem, ob der Schwerpunkt der Betrachtung mehr auf den Lehr- oder Lernaspekt gelegt wird, werden entweder die Begriffe „Instruction“ bzw. Unterricht oder „Learning“ bzw. „Lernen“ verwendet (Witte, 1995).

Einige dieser Bezeichnungen werden auch als Synonym für den Begriff „Lernsoftware“ bzw. als Oberbegriff für bestimmte Arten verwendet (Mader, 1999). Eine eng formulierte Definition des Begriffes „Lernsoftware“ findet sich bei BAUMGARTNER und PAYR (1999). Sie verstehen darunter eine eigens für Lehr- und Lernzwecke programmierte Software, deren hauptsächlichlicher Zweck der Einsatz im Bildungsbereich darstellt.

2.2.2 Multimedia, Interaktivität, Hypertext und Hypermedia in Lernsoftware

Multimedia, Interaktivität, Hypertext und Hypermedia stellen wesentliche Elemente von Lernsoftware dar (Baumgartner und Payr, 1999; Issing und Strzebkowski, 1995). Daher sollen diese Begriffe im folgendem Kapitel zuerst definiert und im Anschluss aus medienpädagogischer Sicht erläutert werden. Eine einheitliche Definition gestaltet sich schwierig, da in der wissenschaftlichen Diskussion keineswegs Konsens herrscht.

2.2.2.1 Multimedia

Multimedia ist ein Modewort, welches uns in vielen Bereichen des alltäglichen Lebens begegnet (Stiller, 2000). Daher ist es verständlich, dass der Begriff teilweise sehr unterschiedlich und unscharf verwendet wird. MADER (1999) stellt eine Definition vor, die eher den allgemeinen Sprachgebrauch widerspiegelt: „Multimedia ist die kombinierte, integrierte Darstellung und Verarbeitung unterschiedlicher visueller und auditiver Informationsarten (Text, Grafik, Bild und Animation) mit dem Computer. Der Computer als virtuell universelle Ma-

schine ersetzt die audiovisuellen Medien“. Technisch wurde dies erst durch die Vereinheitlichung aller audiovisuellen Daten in digitaler Form ermöglicht. Alle Datenarten (Text, Grafik, Bild und Animation) wurden dadurch von einem bestimmten Speichermedium unabhängig und mit Software beliebig verarbeitbar (Baumgartner und Payr, 1999). Durch die Möglichkeit der Bearbeitung bietet der Computer die Technologie beliebige Lernsituationen zu konstruieren und Sachverhalte so darzustellen, wie es in der Realität nur schwer oder gar nicht möglich ist (Mader, 1999).

Die CD-ROM wurde zum Prototyp des medienintegrierten Datenspeichers. Vom Datenformat her sind die Daten auf CD-ROM identisch mit denen, die sich auf Festplatten oder Disketten speichern lassen (Baumgartner und Payr, 1999). Dabei übersteigt die Informationskapazität einer üblichen CD-ROM die von Büchern um ein Vielfaches und kann billig in großer Stückzahl produziert werden (Holmes und Nicholls, 1996). Die geringeren Produktionskosten und die leicht durchzuführende Überarbeitung der digitalen Daten ermöglichen Wiederauflagen verhältnismäßig einfach herauszugeben (Longstaffe, 1993).

Grundlegend steht hinter dem Multimediaeinsatz der Versuch, die verschiedenen Vorteile der einzelnen Medien und ihrer Informationspräsentation zu vereinen (Schwab, 1995; Stiller, 2000). Ein und derselbe Sachverhalt kann über das gleichzeitige Ansprechen verschiedener menschlicher Wahrnehmungskanäle dem Lernenden präsentiert werden. Dadurch soll ein höheren Grad an Aufnahmekapazität und Motivation erreicht werden (Baumgartner und Payr, 1999), was sich positiv auf den Lernprozesse auswirken soll (Aufenanger, 1996). Dabei ist jedoch zu beachten, dass eine einfache Addition unterschiedlicher Sinnesansprachen nicht automatisch zu einer Verbesserung von Lernprozessen führt. Erst ein sinnvolles Arrangement der Medien unterstützt den Lernprozess und trägt zum Verständnis bei (Weidenmann, 1995).

2.2.2.2 Interaktivität

„Die Eigenschaft des Computers zur Durchführung von Mensch-Computer-Interaktion wird als Interaktivität bezeichnet“ (Issing und Strzebkowski, 1995). Der Begriff Interaktion beschreibt in diesem Zusammenhang den Dialogprozess zwischen Mensch und Computer (Nullmeier und Rödiger, 1988; zitiert nach Issing, 1997).

In Bezug auf Lernsoftware kann man fünf Aktionsdimensionen von Interaktivität unterscheiden:

1. Eingriffsmöglichkeiten in den Ablauf des Programms
2. Auswahlmöglichkeiten der Inhalte und die Bestimmung eigener Lernwege
3. Auswahl und Steuerung der Präsentationsformen der Inhalte
4. Dialog zwischen Mensch und Computer auf der Basis der Datenein- und -ausgabe
5. Manipulation und Modellierung der multimedialen Datenbasis

Interaktivität gestattet es dem Lernenden kreativ sein zu dürfen und selbst die Kontrolle über den Lernprozess zu übernehmen (Issing und Strzebkowski, 1995). Sie ist aus medienpädagogischer Sicht ein kennzeichnendes Merkmal von Lernsoftware (Baumgartner und Payr, 1999) und ermöglicht die aus konstruktivistischer Sicht für den Lernprozess notwendige „Individualisierung des Wissenserwerbs“ (Weidenmann, 1993). Der Zentrale Punkt dieser Theorie liegt in der Förderung individueller mentaler Konstruktionsprozesse durch weitgehende Selbststeuerung des Lernprozesses (Gruber et al., 1999). Nach anfänglicher Euphorie wurde deutlich, dass die an die Interaktivität gekoppelte Idee der Selbststeuerung besonders unerfahrene Anwender des öfteren überforderte (Schwab, 1995). Gerade Anfänger bringen für ihre lernstrategischen Überlegungen so viele kognitive Ressourcen auf, dass sie nicht mehr für die Aufnahme und Verarbeitung von Inhalten zur Verfügung stehen (Wright, 1993). Die Möglichkeit des Lernenden, den Programmablauf seinem Vorwissen entsprechend anzupassen und sein Lerntempo individuell zu gestalten, kann eine deutliche Verringerung der Lernzeit im Gegensatz zum starren Frontalunterricht bewirken (Hasebrook, 1995). Die Interaktion mit einem Lernprogramm bleibt im Gegensatz zu der mit einem Lehrer sanktionsfrei. RHEINBERG (1985) sieht darin ein Begründung für die hohe Attraktivität und Akzeptanz von Lernprogrammen. Negative Aspekte im Lernen mit dem Computer, sind in der möglichen Abkehr von notwendigen sozialen Lernprozessen zu sehen (Aufenanger, 1996). So befürchten Autoren, die dem Einsatz von Computerlernumgebungen skeptisch gegenüberstehen, dass durch den Computergebrauch kommunikationsentwöhnte Einzelgänger entstehen. Diese These ist jedoch empirisch nicht ausreichend untermauert (Mandl et al., 1994).

2.2.2.3 Hypertext und Hypermedia

Hypertext und Hypermedia verwirklichen das Konzept einer nicht sequentiellen Präsentation von Information. Von der Struktur her handelt es sich dabei um eine Ansammlung von Informationen in Einheiten portioniert (Knoten), die durch bestimmte Verbindungen (Links) miteinander verknüpft sind. Zwischen diesen Informationseinheiten kann man sich frei bewegen

(navigieren). Es sind daher viele verschiedene Wege durch eine Informationsmenge möglich. Im Gegensatz dazu ist konventioneller Text linear, d.h. der Leser muss dem Autor von der ersten bis zur letzten Seite - also sequentiell - folgen. Nicht lineare Erweiterungen in Büchern sind Verweise, Fußnoten sowie Inhalts-, Abbildungs- und Stichwortverzeichnisse. Sie ermöglichen dem Leser einen direkten Zugriff auf bestimmte Informationen (Mader, 1999). Während sich die verschiedenen Autoren bezüglich der Struktur von Hypertext einig sind, weichen die Auffassungen bezüglich der Repräsentationsform, aus denen sich ein Hypertext zusammensetzt, voneinander ab. Eine Gruppe von Autoren (Baumgartner und Payr, 1999; Mader, 1999) versteht unter dem Begriff Hypertext nicht nur eine nicht-lineare Verknüpfung von Textdokumenten, sondern sieht auch andere Darstellungsformen, wie z.B. Bild, Ton und Video als integrativen Bestandteil von Hypertext an. Für eine zweite Gruppe von Autoren (Aufenanger, 1996; Issing und Strzebkowski, 1995; Schwab, 1995) besteht ein Hypertext lediglich aus Text. Werden andere Darstellungsformen integriert, so verwenden sie den Begriff „Hypermedia“, der sich aus der Synthese der Begriffe „Hypertext“ und „Multimedia“ ergibt. Vorteile der Hypertextsysteme werden in ihrer Flexibilität hinsichtlich des Zugriffes auf Wissen gesehen. Des weiteren sollen sie die Eigeninitiative - im Sinne der „Individualisierung des Wissenserwerbs“ - beim Erkunden des Materials fördern (Kuhlen, 1991). Ebenfalls wird diskutiert, ob Hypertext vernetztes, nichtlineares Denken oder kreative Leistungen unterstützt. Allerdings ist unklar, welche Inhalte für eine Hypertextmodellierung besonders geeignet sind. Man nimmt an, dass solche Systeme einige Aspekte, wie zum Beispiel komplexe Strukturen, Feedback oder bewegte Bilder besser abbilden als Bücher. Demgegenüber steht die Gefahr des „Lost in hyperspace“. Damit ist gemeint, dass der Anwender sich im Netz von Informationen, die das Hypermediasystem bietet, verirrt und nicht mehr weiß, wo er gerade bei seiner Informationssuche angelangt ist. Das Phänomen des „lost in hyperspace“ entspricht der Überforderung durch gänzliche Selbstregulierung beim Lernen aufgrund ausgeprägter Interaktivität. Um diesem entgegenzuwirken werden Navigationshilfen und adaptive Komponenten in Lernsoftware implementiert, die den Anwender durch das System leiten (Schwab, 1995).

2.2.3 Lernsoftware-Typologien

Verschiedene Formen des Lernens werden durch unterschiedliche Computerprogramme unterstützt (Mandl et al., 1992). In der Medienpsychologie werden daher, basierend auf der zugrunde liegenden Lernform, generell fünf Programmtypen unterschieden. Eine allgemein akzeptierte Klassifikation gibt es nicht; MADER (1999) stellt aber fest, dass es bei den in der Literatur beschriebenen Arten von Lernsoftware kaum Unterschiede gibt. Im folgendem wer-

den Idealtypen von Software beschrieben, die in der Praxis in dieser reinen Form selten anzutreffen sind (Baumgartner und Payr, 1999).

2.2.3.1 Präsentations- und Visualisierungssoftware

Bei Präsentations- und Visualisierungssoftware handelt es sich um Anwendungen, die - wie schon der Name sagt - zur Präsentation und Veranschaulichung von Informationen konzipiert werden. Sie findet überall dort Einsatz, wo herkömmliche Medien in der Möglichkeit der Darstellung einschränkt sind. Die Interaktion beschränkt sich auf die Steuerung der Software durch den Benutzer. Der Anwender kann autonom entscheiden, was er mit den angebotenen Inhalten macht, ohne irgendwelchen starren, vorprogrammierten Sequenzen der Software folgen zu müssen (Mader, 1999).

2.2.3.2 Drill- und Testsoftware

Für Drill- und Testsoftware werden auch häufig die Begriffe „Übungssoftware“, „Drill-and-Practice-Software“ oder „Übungsprogramme“ verwendet (Baumgartner und Payr, 1999). Sie vermittelt keine Informationen, sondern sollen den Lernenden bei der Festigung von Wissen und Fertigkeiten unterstützen. Sie setzen somit voraus, dass der Lernende bereits ein Verständnis des zur Frage stehenden Inhaltsbereich erworben hat (Mandl et al., 1992). Im Kern bestehen sie aus einer Schleife aus gestellter Aufgabe, Beantwortung der Aufgabe durch den Lernenden, Bewertung der Aufgabe, Rückmeldung zur Aufgabe, Übergang zur nächsten Aufgabe (Euler, 1992). Ihnen liegt eine behavioristisch geprägte Didaktik zugrunde, die Lernen als eine Konditionierung versteht (Pfeifer und Leutner, 1997).

2.2.3.3 Tutorensysteme

Tutorensystem ist eine Sammelbezeichnung für komplexe Programme, die auf eine Stoffvermittlung und Überprüfung des Lernerfolgs zielen. Von anderen Programmtypen unterscheiden sie sich aufgrund ihres Dialogcharakters und der Flexibilität ihrer Reaktion auf die verschiedenen Eingaben des Anwenders. Die Lehrstoffdarbietung wird an das jeweilige Kenntnis- und Fertigniveaus des Lernenden angepasst (Mandl et al., 1994). Aufgrund der Adaptionfähigkeit der Programme unterscheidet man zwischen herkömmlichen und intelligenten Tutorensystemen. Erstere sind nur begrenzt in der Lage sich den individuellen Bedürfnissen, Vorkenntnissen und Lernfortschritten des Lernenden anzupassen. Letztere beruhen auf Methoden der künstlichen Intelligenz und sind durch vollständige Adaptivität gekennzeichnet (Mader, 1999). Aufgrund des hohen Entwicklungsaufwandes sind intelligente

(Mader, 1999). Aufgrund des hohen Entwicklungsaufwandes sind intelligente Tutorensysteme bisher nur Experimente geblieben (Baumgartner und Payr, 1999).

2.2.3.4 Simulationen

Simulationen sind Modelle, die komplexe Sachverhalte oder Situationen aus bestimmten inhaltlichen Bereichen abbilden. Die darzustellenden Sachverhalte müssen sich durch mathematische Parameter und Relationen ausdrücken lassen. Der Lernende kann durch das Verändern einzelner Parameter Einfluss auf die Situation nehmen und die Auswirkungen seines Handelns erfahren. Dabei kommt es vor allem darauf an die Wechselwirkungen zwischen den Parametern herauszufinden, mit dem Ziel die Situation in ihrer Gesamtheit zu erfassen (Baumgartner und Payr, 1999). Simulationen bieten vor allem den Vorteil, dass im Umgang mit ihnen realitätsnahe Erfahrungen über komplexe Situationen erworben werden können, die ansonsten nicht direkt zugänglich sind oder deren Ausprobieren schwerwiegende Folgen haben könnte (Pfeifer und Leutner, 1997).

2.2.3.5 Mikrowelten

Mikrowelten gehen gegenüber Simulationen noch einen Schritt weiter: Der Lernende steht vor der Aufgabe sein Lernziel zu definieren und sich eine Lernsituation zu schaffen, in der er sein Lernziel erreichen kann (Baumgartner und Payr, 1999). Ist dieser Konstruktionsprozess abgeschlossen, weist die geschaffene Lernumgebung dieselben Charakteristika auf wie eine Simulation (Mader, 1999).

2.3 Lernprogramme in der Humananatomie und der Veterinärmedizin

2.3.1 Humananatomie

Die ersten Lernprogramme in der Humananatomie präsentierten anatomisches Wissen in Form einer Kombination aus Abbildungen und Text, wie es in Lehrbüchern und Atlanten der Fall ist. Hypermediale Technik ermöglichte einen bequemen Zugriff auf verschiedene anatomische Informationen. Die dargebotenen Hintergrundinformationen beschränkten sich häufig auf das Auflisten der Namen weniger Strukturen. Anatomische Objekte wurden nur als zweidimensionale Abbildungen dargestellt und konnten daher nur aus vorher festgelegten Blickwinkeln betrachtet werden (Höhne et al., 1995).

Mit fortschreitender Entwicklung dreidimensionaler Darstellungen aus einer Folge zweidimensionaler Schnittbilder wurde es möglich 3D-Modelle menschlicher Anatomie zu berechnen und für die anatomische Lehre zu nutzen. Die ersten 3D-Visualisierungen basierten auf CT und MRT Schnittbildfolgen. Aus der Sicht des Anatomen war die Auflösung dieser Darstellungen jedoch oft nicht zufriedenstellend (Tiede et al., 1996). Abhilfe schaffte hier der 1994 zur Verfügung gestellte Volumendatensatz des „Visible Human Project“ (Spitzer et al., 1996). Neben CT und MRT Daten stellte es eine Reihe hochauflösender anatomischer Kryoschnittbilder eines Mannes und später auch die einer Frau zur Verfügung. Diese Datensätze ermöglichten die Berechnung einer Vielzahl von hochauflösenden, realistischen Modellen der menschlichen Anatomie. Basierend auf dem VHP findet man viele Projekte die mit diesen Daten arbeiten^{2,3,4}. Darunter sind auch einige, die sich mit der Entwicklung von Lernprogrammen beschäftigen.

Eine Übersicht über kommerzielle Lernprogramme, mit Beurteilungen von Studenten, bietet der Fachbereich der Humanmedizin der Universität Giessen⁵. Sehr realistische Visualisierungen und vielfältige Möglichkeiten zur Interaktion bieten die Lernprogramme der *VOXEL-MAN*-Familie, die teilweise auf dem VHP basieren. Derzeit erhältlich sind drei Lernprogramme, die sich mit den inneren Organen, dem Gehirn und dem Schädel beschäftigen (Höhne et al., 2001; Höhne et al., 2000; Höhne et al., 1997a). Sämtliche dreidimensionale Rekonstruktionen dieser Programme wurden mittels einer eigens entwickelten Software, dem *VOXEL-MAN*-System (Höhne et al., 1995) berechnet.

² <http://www.nlm.nih.gov/research/visible/animations.html> (06.04.03)

³ <http://www.nlm.nih.gov/research/visible/applications.html> (06.04.03)

⁴ <http://www.nlm.nih.gov/research/visible/products.html> (06.04.03)

⁵ <http://www.med.uni-giessen.de/ipl/iplevaluate.html> (06.04.03)

So sind beispielsweise im *VOXEL-MAN 3D-Navigator: Gehirn und Schädel* über 250 dreidimensionale anatomische Objekte beschrieben. Der Schädel, das Gehirn mit seinen Bestandteilen, Funktionsarealen, Gefäßen und Blutgefäßversorgungsgebieten können in 20 interaktiven Szenen untersucht und präpariert werden.

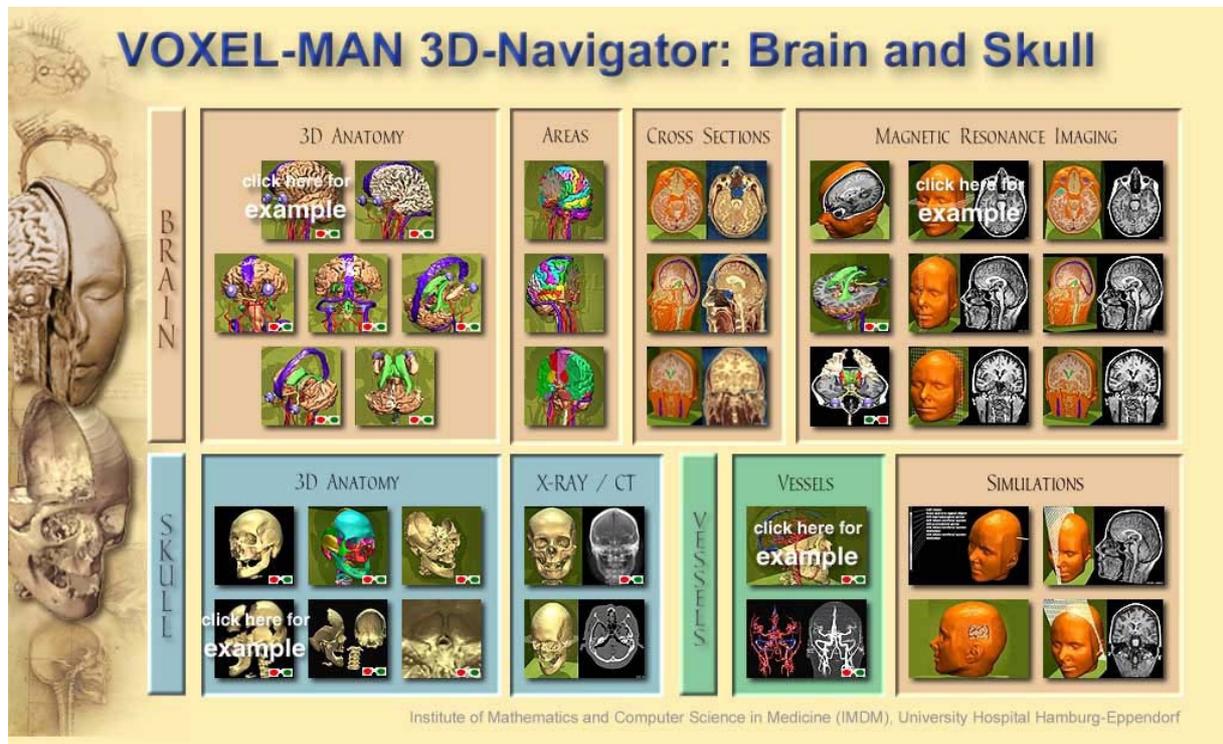


Abb. 1: Inhaltsverzeichnis von VOXEL-MAN 3D-Navigator: Gehirn und Schädel (englische Version)⁶

Die Animation werden nach Themen sortiert angeboten. Per Mausklick auf das entsprechende Ikon gelangt der Anwender zur gewünschten Szene.

Mit Hilfe der Maus kann eine Szene gedreht und es können Objekte hinzugefügt oder weggenommen werden. Über die Einstellung verschiedener Modi ist es außerdem möglich Strukturen zu markieren, zu suchen, zu färben oder zu beschriften. Für die Auswahl der zu manipulierenden Objekte steht auch eine Objektliste zur Verfügung (Abb. 1). Des Weiteren kann die radiologische Ausprägung der Organe in Zusammenhang mit der 3D-Anatomie betrachtet werden. Dies gilt sowohl für simulierte Röntgenbilder als auch für Schnittbilder aus CT und MRT. Letztendlich ist die Nomenklatur in fünf Sprachen verfügbar.

⁶ <http://www.uke.uni-hamburg.de/institute/imdm/idv/vm3dn/brainandskull.de.html> (06.04.03)

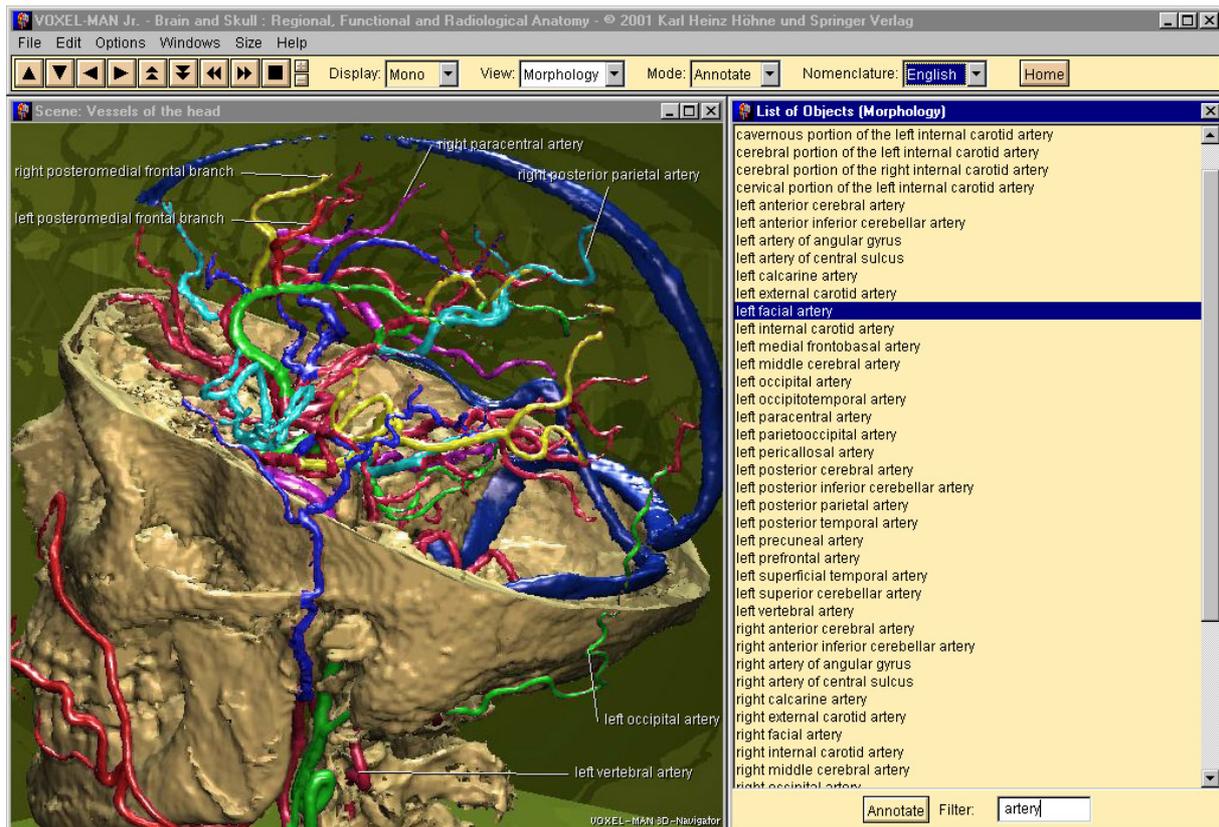


Abb. 2: Animationsmenü von VOXEL-MAN 3D-Navigator: Gehirn und Schädel (englische Version)⁷

Mit Hilfe der Maus kann eine Szene gedreht und es können Objekte hinzugefügt oder weggenommen werden. Über die Einstellung verschiedener Modi ist es außerdem möglich Strukturen zu markieren, zu suchen, zu färben oder zu beschriften. Für die Auswahl der zu manipulierenden Objekte steht eine Objektliste zur Verfügung.

2.3.2 Veterinärmedizin

Im englischsprachigen Raum wurden die Möglichkeiten des Computers für die tiermedizinische Ausbildung als erstes erkannt. Während dort anfänglich die Entwicklung von Lernprogrammen einzelnen Universitäten und Lehrenden überlassen war, erfolgt diese heute überwiegend in Kooperationen. In Großbritannien wurde 1993 mit dem Zusammenschluss der sechs britischen Veterinärschulen CLIVE⁸ (Computer-aided Learning in Veterinary Education) ins Leben gerufen (Short, 1994). Das amerikanisch-kanadische Pendant dazu heißt CONVINC⁹ (Consortium of North American Veterinary Interactive New Concept Education) an dem sich alle nordamerikanischen und kanadischen Veterinärschulen bzw. Universitäten beteiligen. Ziel dieser Kooperationen ist die Förderung der gemeinsamen Entwicklung von computerbasierten Anwendungen. Die Vergabe der Themen, zu denen Lernprogramme ent-

⁷ <http://www.uke.uni-hamburg.de/institute/imdm/idv/vm3dn/brainandskull.de.html> (06.04.03)

⁸ <http://www.clive.ed.ac.uk/> (06.04.03)

⁹ <http://www.convince.org/> (06.04.03)

wickelt werden sollen, wird zentral organisiert. Die Umsetzung findet darauf an den einzelnen Universitäten statt. An einigen Universitäten wurden zentrale Einrichtungen gegründet, an denen die Entwicklung erfolgt¹⁰, (Galland et al., 1995). Dabei steuert der Tiermediziner den fachlichen Inhalt bei und erhält durch Spezialisten aus den Bereichen Mediendesign, Didaktik und Informatik Unterstützung bei der Umsetzung des Inhaltes.

Mit CLIVE oder CONVINCENCE vergleichbare Zusammenschlüsse gibt es innerhalb der deutschsprachigen veterinärmedizinischen Bildungsstätten bisher nicht. Eine zentrale Einrichtung für computergestütztes Lernen in der Veterinärmedizin findet sich an der FU Berlin. Dort wurde 1994 von Prof. Heuwieser „VetMedia“ gegründet¹¹. Die Schwerpunkte dieses Projektes liegen in der Entwicklung CD-ROM basierter Lernprogramme (Regula, 1996; Steens, 1999) und Internet basierter Informationssysteme (Abt, 2000; Rother, 1998) für Tierärzte und Studenten. Ein Arbeitskreis für den Einsatz neuer Medien in der tiermedizinischen Lehre und Fortbildung existiert als MultiTierMedia¹² in München. Im Rahmen dieser interdisziplinären Kooperation erfolgt die Entwicklung von Lernprogrammen, und es finden statistische Erhebungen bezüglich Computer assistierten Lernens in der tiermedizinischen Lehre statt (Friker et al., 2001). Ansonsten bleibt die Entwicklung und der Einsatz Computer assistierte Lernprogramme auf einzelne veterinärmedizinische Institute beschränkt (Schaffhauser, 2000; Haschke und Diener, 1999; Stocke, 1999; Maierl et al., 1998)¹³.

2.3.2.1 Veterinär-anatomische Lernprogramme

Wie die ersten humananatomischen Lernprogramme präsentiert die überwiegende Zahl der veterinär-anatomischen Anwendungen ihre Lehrinhalte in Form einer Kombination aus Abbildungen und Text. Nur wenige Programme integrieren auch andere Medien. So veranschaulicht „Anatomia canis“¹⁴ anhand von Videosequenzen und anatomischen Standbildern einzelne Präparationsschritte an der vorderen und hinteren Extremität des Hundes. Weitere CD-ROMs unter anderem zum Thema Kopf sind in Vorbereitung.

Bei der „The Glass Horse“ CD-ROM (Glass Horse LCC, 2001)¹⁵ handelt es sich um ein Programm zur Darstellung des Gastrointestinaltrakts des Pferdes. Es enthält neben Text, Audio und 3D-Animationen zur Anatomie und zur Kolikentwicklung. Die dreidimensionalen Modelle der abdominalen Organe wurden von Hand, mit Hilfe mathematischer Kurven erstellt und

¹⁰ <http://www.calf.vetmed.ucdavis.edu/html/abotcalf.html> (06.04.03)

¹¹ <http://vetmedia.vetmed.fu-berlin.de> (06.04.03)

¹² <http://www.multiermedia.de> (06.04.03)

¹³ <http://www.multiermedia.de/lernprogramme.html> (06.04.03)

¹⁴ <http://www.vetbook.de> (06.04.03)

¹⁵ <http://www.3dglasshorse.com> (06.04.03)

sind als QTVR-Movies zu betrachten (Abb. 3). Eine Anwendung dieser Art zur Anatomie des Hundekopfes existiert nicht.

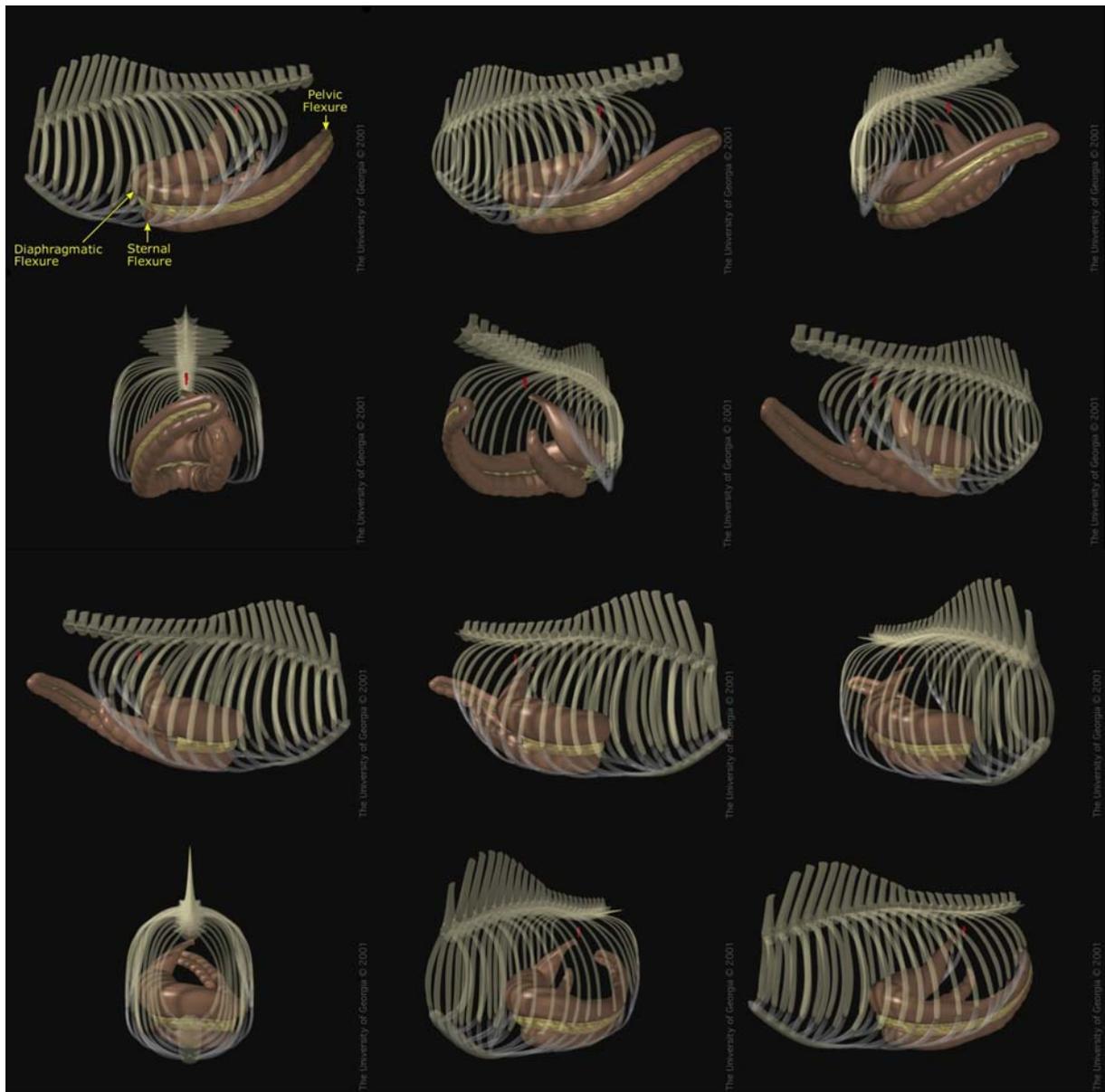


Abb. 3: Animation aus der CD-ROM “The Glass Horse“ (Glass Horse LCC, 2001); Colon ascendens
Mit Hilfe der Maus kann eine Szene gedreht werden und teilweise sind die anatomischen Strukturen beschriftet.

Ein dreidimensionales Hundemodell zum virtuellen Training abdominaler Chirurgie wurde von SHORT¹⁶¹⁷ erstellt. Dabei handelt es sich um ein aus korrespondierenden CT- und MRT-Datensätzen rekonstruiertes Hundemodell, das die äußere Haut und 30 unterschiedliche Orga-

¹⁶ <http://www.clive.ed.ac.uk/news/Newsletter2/virtual%20dog.htm> (06.04.03)

¹⁷ <http://www.cogsci.ed.ac.uk/~paulus/Work/Vetreports/vetrep1a-98.htm> (06.04.03)

ne umfasst. Im Zuge dieses Projektes war auch die Entwicklung eines Tutorensystems geplant, dessen Umsetzung bisher nicht erfolgt ist¹⁸.

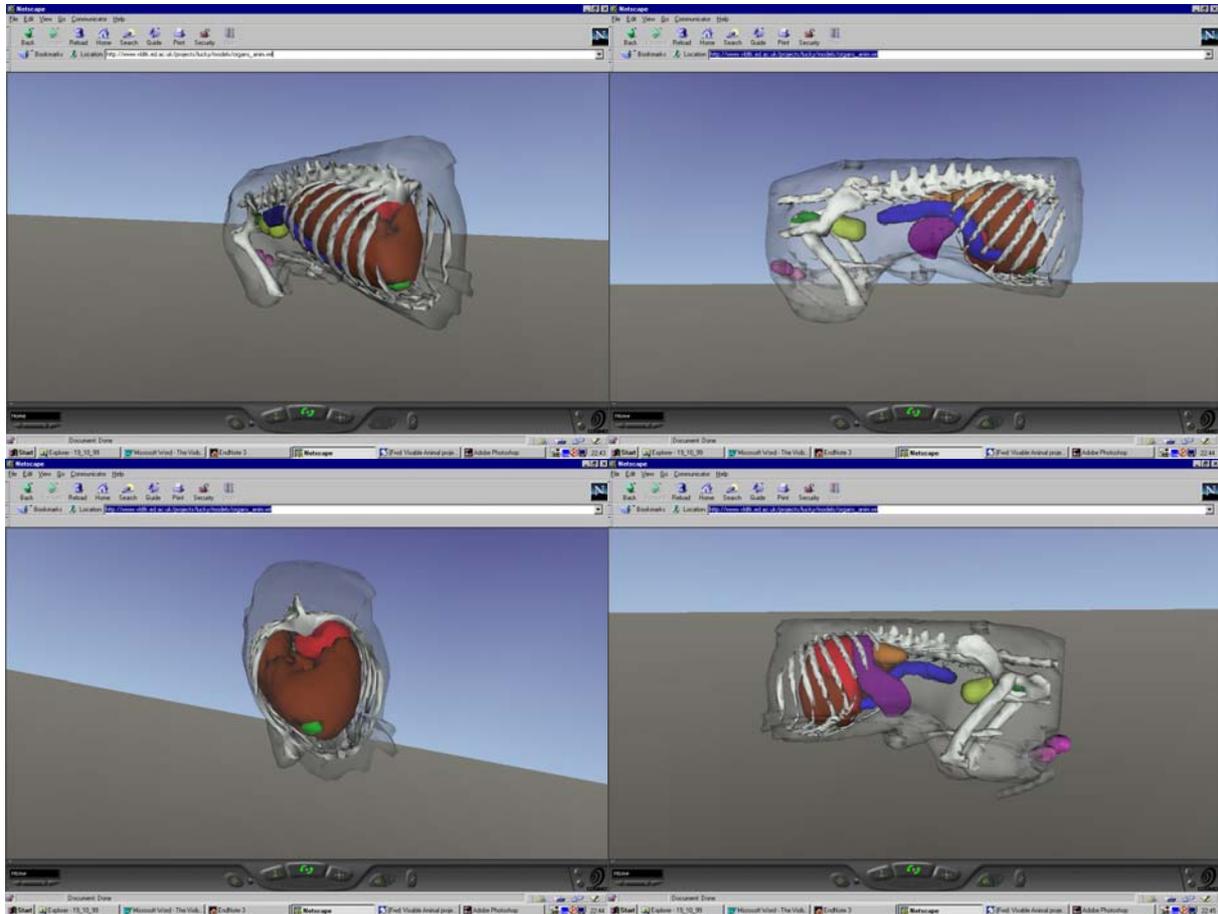


Abb. 4: Darstellung des "Lucky the Virtual Dog" am lokalen Rechner; aus Böttcher (2000)

Das "Interaktive Bildwörterbuch - Schädel des Hundes" (Friker et al., 2001) bietet Rotationsgraphiken (Abb. 5). Dabei handelt es sich um Animationen in denen der Anwender den Schädel eines Hundes um eine Achse bewegen kann. Zur Erstellung der Animationen wurde ein Schädel auf einer rotierenden Achse vor einer Kamera befestigt und in definierten Winkelschritten gedreht. Dabei wurden digitale Bildsequenzen erstellt die in Form der Animation betrachtet werden können. In den Animationen sind die abgebildeten Strukturen nicht befragbar.

¹⁸ <http://www.clive.ed.ac.uk/news/Newsletter3/lucky.htm> (06.04.03)



Abb. 5: Rotationsgraphik eines Hundeschädels, aus der CD-ROM „Interaktives Bildwörterbuch - Schädel des Hundes“ (Friker und Liebich, 2001)

2.3.2.1.1 Das „Visible Animal Project“

Während in der Humanmedizin der 1994 in Form des „Visible Human Project“ veröffentlichte Datensatz die Berechnung vieler Modelle menschlicher Anatomie ermöglichte (Kap.2.3.1), gibt es im veterinärmedizinischen Bereich erst seit 2000 einen vergleichbaren Datensatz in Form des „Visible Animal Project“ (Böttcher, 2000). Mittels einer eigens entwickelten makroskopischen Kryoschnittbildtechnik wurde eine Beaglehündin in 805 axialen, hochauflösenden, anatomischen Schnittbildern digitalisiert. Korrespondierende CT- und MRT-Datensätze wurden ebenfalls erstellt. Basierend auf diesen Volumendatensätzen war es möglich, Organe und ihre Blutgefäßversorgung, Muskeln, Knochen und Fettgewebe dreidimensional zu rekonstruieren. Die im *VOXEL-MAN* System (Kap. 2.3.1) berechneten dreidimensionalen Rekonstruktionen und Animationen sind - trotz technisch bedingter Reduzierung der Auflösung des Datenvolumens um den Faktor vier - einzigartig in ihrer Qualität und anatomischen Detailtreue im veterinärmedizinischen Bereich.

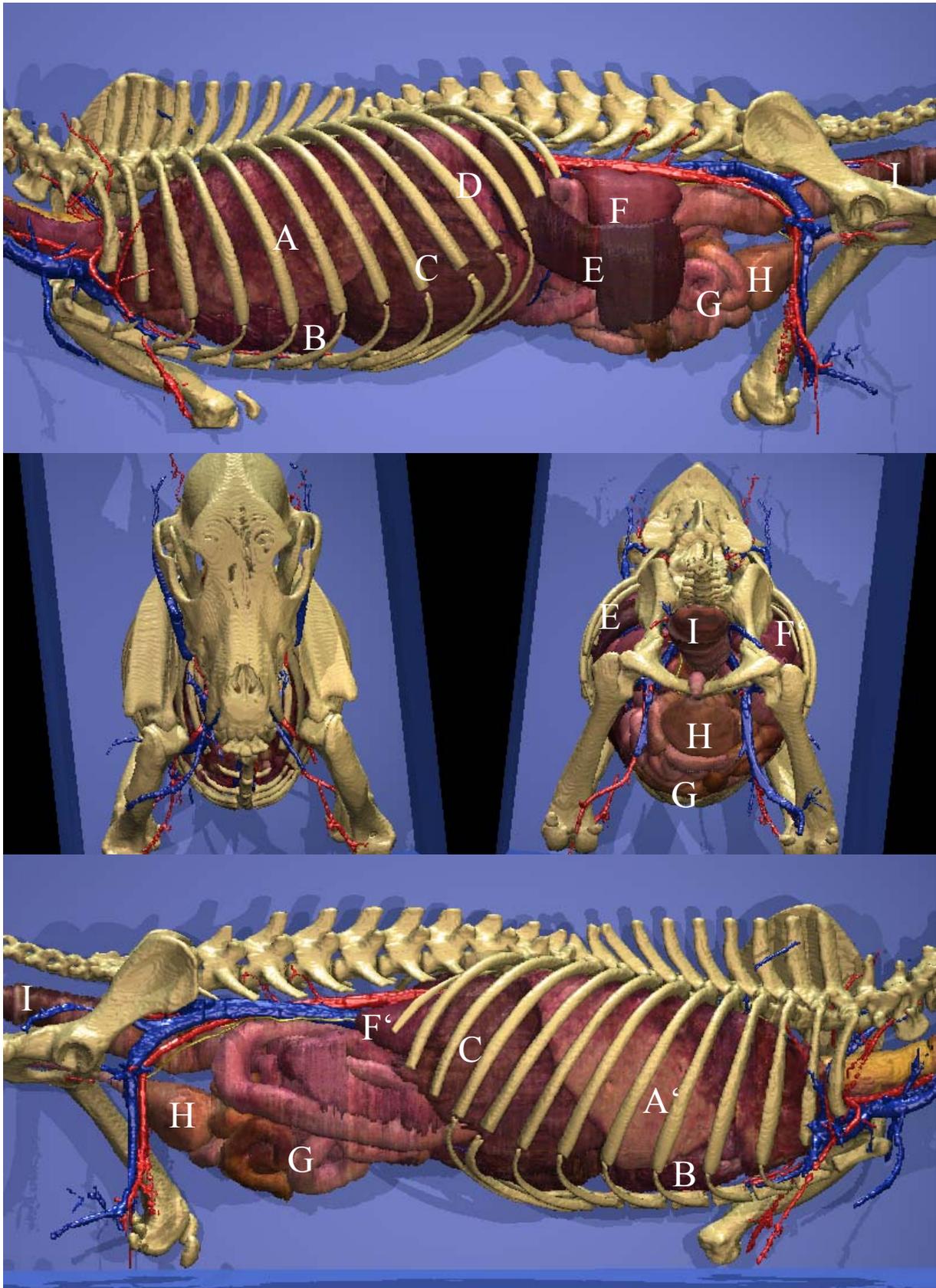


Abb. 6: Darstellung des Skeletts in Zusammenhang mit den großen Organen und Gefäßen; aus „The Visible Animal Project“ (Böttcher, 2000)

A linke Lunge, A' rechte Lunge, B Herz, C Leber, D Magen, E Milz, F linke Niere, F' rechte Niere, G Dünndarm, H Harnblase, I Rektum

Des Weiteren wurde im Rahmen dieses Projektes eine Benutzeroberfläche (*InsideDOG*) entwickelt, um die Datenvolumina und 3D-Animationen einem potentiellen Endanwender zugänglich zu machen. Bei der Entwicklung dieser Programmoberfläche wurde Wert auf eine allgemeine Programmierung gelegt, um ein späteres Wiederverwenden der Programmoberfläche für andere Anwendungen zu ermöglichen. Mit dieser Modellstudie wurde kein abgerundetes Lernprogramm präsentiert, sondern es wurden vielmehr die technischen und strukturellen Voraussetzungen zur Erstellung von hypermedialen Visualisierungssystemen basierend auf „intelligenten Animationen“ geschaffen.

2.4 Vorteile dreidimensionaler Computermodelle gegenüber anderen Visualisierungstechniken

Dreidimensionale Computermodelle werden im zunehmendem Umfang in der Humanmedizin eingesetzt. Weit verbreitet ist ihre Anwendung in der Diagnostik, der Operationsplanung und -simulation, der intraoperativen Führung sowie in der Lehre (Han et al., 2002; Henn et al., 2002; Oldhafer et al., 2002; Petersik et al., 2002; Robb, 2002; Handels et al., 2001; Hiroshige et al., 2001; Kaufmann, 2001; Bacro et al., 2000; Franca et al., 2000; Marks, 2000; Kling et al., 1999; Lamade et al., 1999; Pach et al., 1999; Anderson et al., 1998; Kerr et al., 1996; Kikinis et al., 1996; Pommert et al., 1994b; Totty und Vannier, 1984). In der Veterinärmedizin findet man nur vereinzelt vergleichbare Publikationen (Peissner und Frank, 2001; Beck et al., 2000; Jones, 2000; Riley et al., 1996; Kaneps et al., 1995; Wood et al., 1994; Shores et al., 1992). Die Vorteile dreidimensionaler Computermodelle gegenüber anderen Visualisierungstechniken lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1. Zweidimensionale Schnittbildfolgen, wie MRT oder CT, müssen erst vom Betrachter mental dreidimensional rekonstruiert werden, um eine räumliche Vorstellung von den interessierenden Strukturen zu bekommen. Die mentale Rekonstruktion gestaltet sich umso schwieriger, je komplexer die anatomischen Verhältnisse sind. Dreidimensionale Darstellungen erübrigen die zeitaufwendigen mentalen Rekonstruktionsprozesse und ermöglichen es dem Betrachter sich auf die eigentliche Auswertung und Beurteilung der anatomischen Verhältnisse zu konzentrieren (Marks, 2000; Kikinis et al., 1996; Totty und Vannier, 1984). Dies führt zu einer wesentlichen Reduzierung der Durchsicht- und Entscheidungsfindungszeit (Robb, 2002).

2. Der dreidimensionale Raum bietet die Möglichkeit die Gestalt und den Aufbau anatomischer Strukturen besser zu verstehen. Objekte können in Relation zu ihrer Umgebung betrachtet werden, so dass ihre räumliche Beziehung zu den sie umgebenden Strukturen deutlich wird (Henn et al., 2002; Oldhafer et al., 2002; Hiroshige et al., 2001; Pach et al., 1999; Anderson et al., 1998). So vermitteln beispielsweise 3D Visualisierungen bei der chirurgischen Tumorentfernung ein besseres Verständnis über die räumliche Ausdehnung eines Tumors und über die ihm nahe gelegenen Gefäße als zweidimensionale Bilder (Hiroshige et al., 2001; Franca et al., 2000; Lamade et al., 1999; Kikinis et al., 1996).
3. Dreidimensionale Rekonstruktionen bieten die Möglichkeit, Organe in ihrer natürlichen in situ Lage darzustellen, wie es mit herkömmlichen Präparationen aufgrund ihrer invasiven Natur oft nicht möglich ist (Kerr et al., 1996).
4. Die Möglichkeit, ein 3D Modell zu manipulieren fördert das "learning by doing". Dreidimensionale Modelle stellen daher eine ideale Ergänzung zu den heutzutage immer seltener durchgeführten Übungen an realen Präparaten dar (Petersik et al., 2002; Pommert et al., 1994a).
5. 3D Visualisierungen sind mit dem Computer kostengünstig zu erstellen. Dies reduziert die Kosten für den Bedarf an plastischen Modellen (Handels et al., 2001) oder echten Präparaten (Bacro et al., 2000).

3 Material und Methoden

3.1 Datensätze

Als Ausgangsbasis für die Erstellung der dreidimensionalen Rekonstruktionen dienten der axiale Kryoschnittbilddatensatz und der CT-Datensatz des „Visible Animal Project“ (Abb. 7).

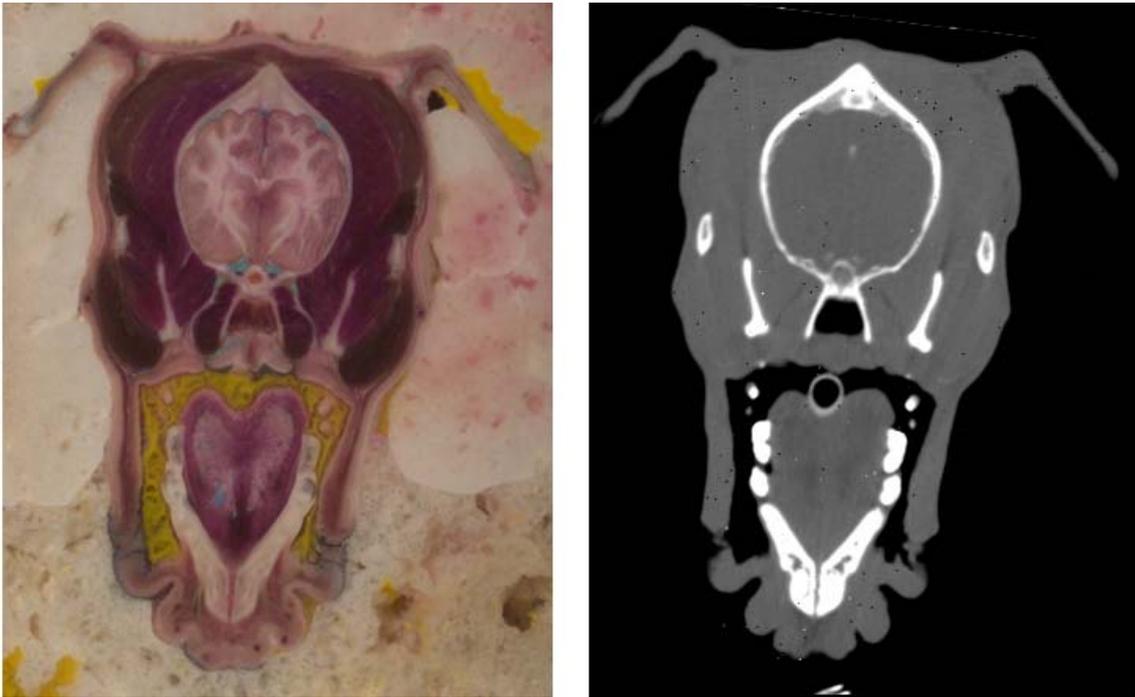


Abb. 7: Kryoschnittbilddatensatz (links) und CT-Datensatz (rechts) des „Visible Animal Project“
Korrespondierende Schnittbilder

Es wurden nur Schnittbilder für die Rekonstruktion herangezogen, die den Kopf und den Hals, inklusive der Schilddrüsen darstellten. Die beiden Volumendatensätze lagen schon, in einem für die Rekonstruktionssoftware *VOXEL-MAN* spezifischen Dateiformat vor. Die so ausgewählten Datensätze wiesen die in Tab. 1 dargestellten Dimensionen auf:

	Kryoschnittbilddatensatz	CT-Datensatz
Anzahl der Schnittbilder/Tomogramme	203	203
Schichtdicke (mm)	1	1
Schichtabstand (mm)	0	0
Bilddimension (Pixel)	1050 x 1338	512 x 615
Bildauflösung (mm ²)	0.17	0.48
Farbumfang	16.4 Mio Farben (24 Bit true color)	4096 Graustufen (12 Bit)

Tab. 1: Dimensionen der Teildatensätze des „Visible Animal Project“ vor der Anpassung zum isotropen Datensatz

3.1.1 Angleichen der zwei Datensätze zu einem Gesamtgefüge (Matching)

Da *VOXEL-MAN* nur für kubische Voxel ausgelegt ist, mussten isotrope Datensätze erzeugt werden. Dieser Arbeitsschritt erfolgte mit speziellen Programmen, die vom Institut für Mathematik und Datenverarbeitung in der Medizin (IMDM) bereitgestellt wurden. Die Datensätze wurden durch die Berechnung von Zwischenschichten bis zum Erhalt kubischer Voxel interpoliert. Dieser Vorgang führt schnell zu einer enormen Vergrößerung des Datenvolumens und steigert den Arbeitsspeicherbedarf für spätere Berechnungen. Die Bildauflösung des Kryoschnittbilddatensatzes wurde in der Bildebene um den Faktor 3 verkleinert und in Z-Richtung um Faktor 2 vergrößert. Die Auflösung des CT Datensatzes wurde entsprechend berechnet.

Im nächsten Arbeitsschritt wurde der CT-Datensatz so an den Kryo-Datensatz angeglichen, dass jedes Voxel im CT-Datenvolumen topographisch mit dem korrespondierenden Voxel des Kryo-Datenvolumens übereinstimmte. Das hierzu verwendete Programm basiert auf dem von VIOLA und WELLS (Viola und Wells, 1995) veröffentlichtem Prinzip der „Mutual Information“. Den Angaben von MAES et al. (Maes et al., 1997) folgend, wurde im Hause ein spezielles Programm entworfen, das die automatische Registrierung der zwei Datensätze ermöglicht. Dabei greift das Programm auf die statistische Verteilung der Farbwerte bzw. Grauwerte innerhalb der Datenvolumina zurück, ohne dass anatomische Kenntnisse benötigt werden. Grundsätzlich versucht das Programm wahllos unterschiedliche Anpassungen in Ausrichtung und Ausdehnung der beiden Datenvolumina aus und misst über die Bildung von Grauwert-

paarungen den statistischen Zusammenhang zwischen Transformation und anatomischer Überlappung. Je optimaler die anatomische Zugehörigkeit, um so größer wird der statistische Zusammenhang. Dieser Vorgang kann dann mit Hilfe moderner Optimierungsalgorithmen automatisiert werden. Als Ergebnis erhielt man einen CT-Datensatz, dessen Positionierung seiner Objekte, genau den Objekten im unveränderten Kryoschnittbilddatensatz entsprach. Die so umgewandelten Datensätze wiesen die in Tab. 2 dargestellten Dimensionen auf:

	Dimensionen der angepassten Volumendatensätze
Anzahl der Schnittbilder/Tomogramme	398
Schichtdicke (mm)	0.50
Schichtabstand (mm)	0
Bilddimension (Pixel)	350 x 446
Bildauflösung (mm ²)	0.51
Farbumfang	16.4 Mio Farben (24Bit true color) im Kryoschnittbilddatensatz 4096 Graustufen (12 Bit) im CT-Datensatz

Tab. 2: Dimensionen der angepassten Volumendatensätze

3.2 Arbeiten im *VOXEL-MAN*-System

Sämtliche Visualisierungen wurden im *VOXEL-MAN*-System durchgeführt. Dieses wurde vom IMDM zur Verfügung gestellt. Als Rechner kam ein PC mit zwei Pentium III Prozessoren, 3 GB Hauptspeicher und 20 GB Festplatte und einer SUSE-Linux Version 7 zum Einsatz. Während der Arbeit mit *VOXEL-MAN* erhält der Benutzer sowohl über eine 2D-Schnittbildbetrachtung (axial, sagittal und koronal), als auch anhand dreidimensionaler Darstellungen sofortige visuelle Rückkopplung über das Ergebnis seiner Arbeitsschritte.

3.2.1 Segmentation und Klassifikation der anatomischen Strukturen

Segmentation und Klassifikation sind wichtige Schritte in der Bildanalyse. Segmentation beinhaltet die Zerlegung eines Bildes bzw. Datenvolumens in einzelne Objekte (Russ, 1994). Klassifikation bedeutet die anschließende Einteilung der segmentierten Objekte nach ihrer anatomischen Zugehörigkeit oder Funktion (Sachse et al., 1996).

Die Segmentation und Klassifikation der anatomischen Strukturen erfolgte mit dem Programmmodul *interseg*. Dieses Modul stellt sowohl semiautomatische als auch manuelle Verfahren zur Verfügung, mit denen man CT- und Kryovolumendatensätze segmentieren kann (Höhne und Hanson, 1992; Schiemann et al., 1992).

3.2.1.1 Segmentation im CT-Datensatz

Im CT-Datensatz wurde der Knochen, die Haut und alle lufthaltigen Höhlen mit dem Schwellenwertverfahren segmentiert. Bei diesem Verfahren wird die Zugehörigkeit eines Voxel zu einem anatomischen Objekt durch seinen Grauwert definiert. Aufgrund der deutlichen Abgrenzung des Knochens, der Haut und der Luft gegenüber der sie umgebenden Strukturen, lassen sie sich mit dem Schwellenwertverfahren leicht segmentieren. Nach manuellem Auswählen typischer Grauwerte der zu segmentierenden Struktur in den Schnittbildern berechnet das Programm einen oberen und unteren Grauwert (Schwellenwert) (Abb. 8).

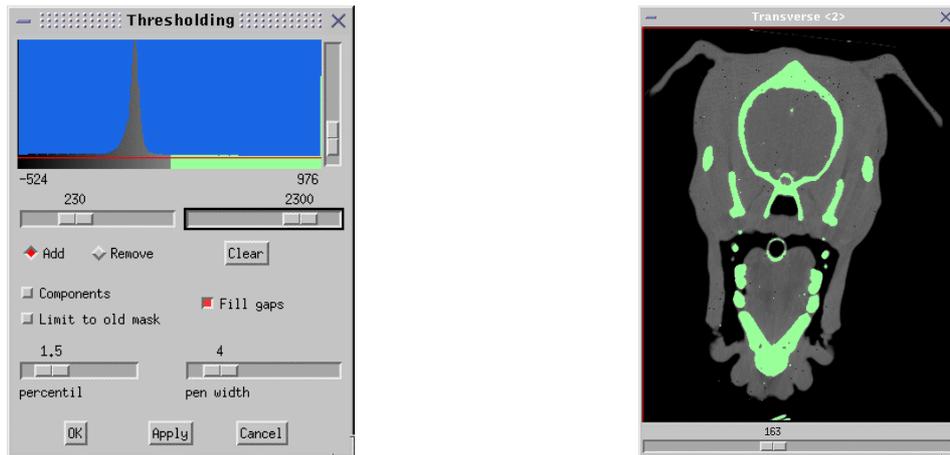


Abb. 8: Segmentation des Knochens im CT Datensatz

Mittels Regler werden Schwellenwerte manuell definiert (links). Alle Voxel, deren Grauwerte innerhalb dieser Grenzen liegen werden im Schnittbild grün angezeigt (rechts).

Alle in den Grauwertbereich fallende Voxel können daraufhin zu einer Menge (Maske) zusammengefasst werden.

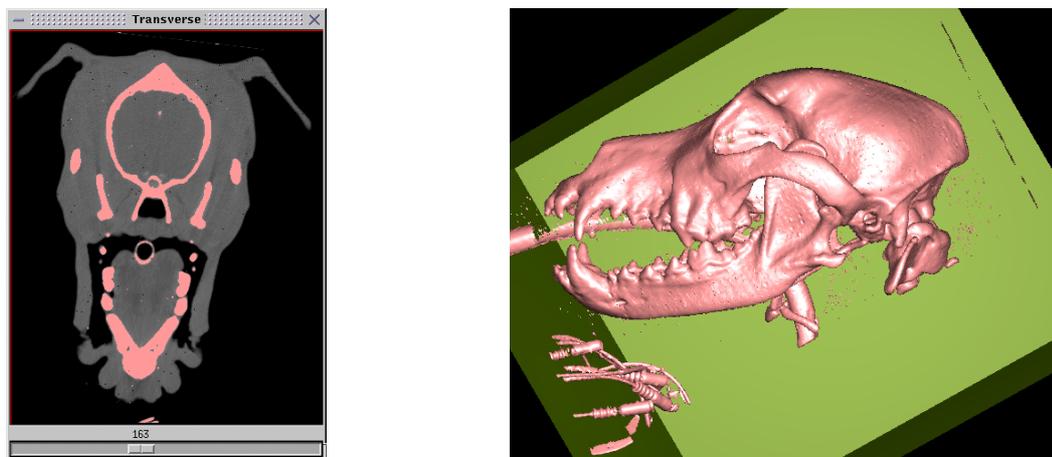


Abb. 9: Darstellung der Maske im Schnittbild (links) und in der Kamera (rechts)

Dem Anwender stehen nun zur weiteren Bearbeitung der Maske verschiedene Werkzeuge zur Verfügung (Höhne und Hanson, 1992). Die verwendeten Funktionen werden im folgenden erläutert und anhand der Segmentation des Knochens bildlich verdeutlicht:

1. Durch eine **“connected components“** Analyse werden die selektierten Voxel auf ihre Nachbarschaftsverhältnisse überprüft. Alle Voxel, die direkt miteinander verbunden sind,

werden als eine Voxelmenge erkannt und farblich klassifiziert. Nach diesem Schritt ist es möglich voneinander getrennte Strukturen zu identifizieren und auszuwählen (Abb. 10).

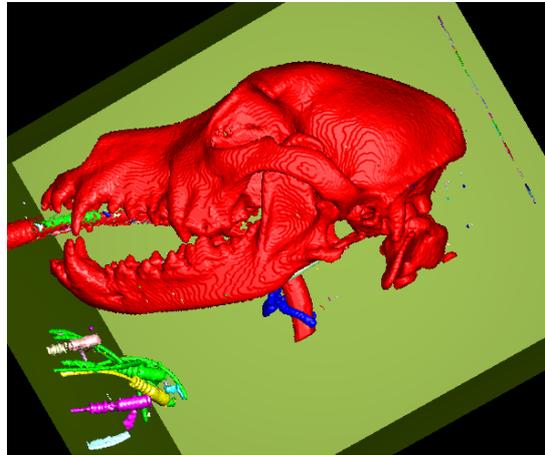


Abb. 10: Darstellung der Maske in der Kamera nach erfolgter "connected components" Analyse

Die voneinander getrennten Strukturen werden in unterschiedlichen Farben dargestellt und können selektiv ausgewählt werden.

2. Mittels **Erosion** lässt sich das Volumen verkleinern. Dies dient der Sprengung von unerwünschten Gewebebrücken. Mit der **Dilatation** des Volumens kann man unerwünschte Löcher schließen oder Erosionen umkehren (Abb. 11).

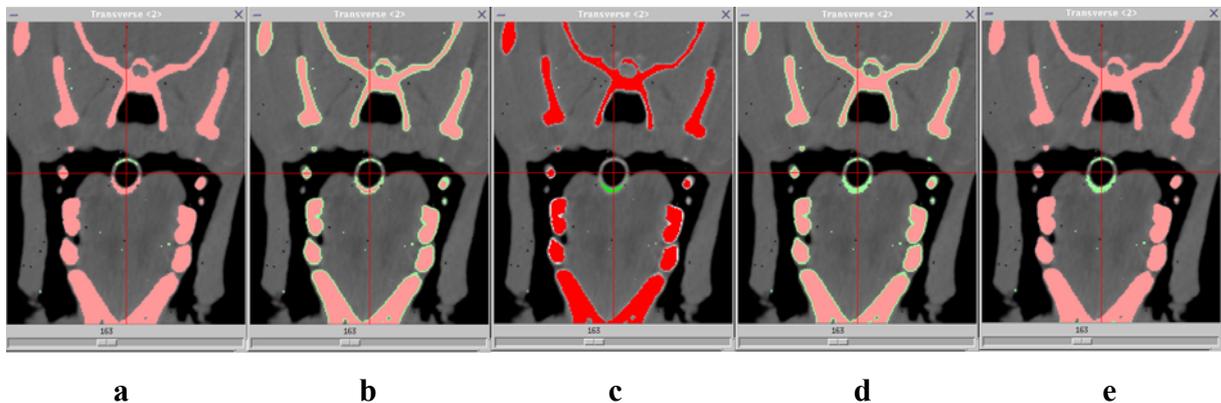


Abb. 11: Erosion und Dilatation der Maske

Zur Entfernung des Tubus (rotes Kreuz) aus der Maske (a) wurde eine Erosion (erkennbar am grünen Saum) (b) mit sich anschließender "connected components" Analyse (c und d) durchgeführt. Die Wiederherstellung der ursprünglichen Größenverhältnisse erfolgte mittels Dilatation (e).

3. Die **"fill"-Funktion** dient der Füllung von Löchern, die sich innerhalb des Maskeninneren befinden und nach außen abgegrenzt sind (Abb. 12).

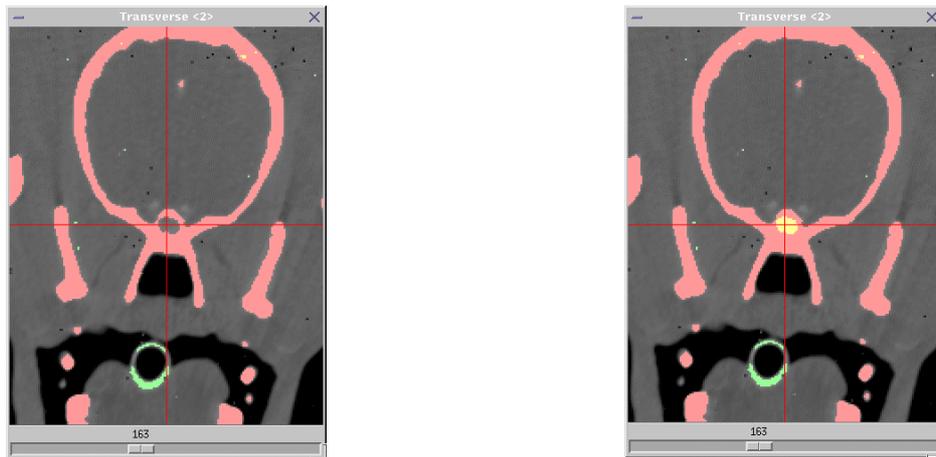


Abb. 12: Füllung von Löchern im Maskeninneren mittels der “fill“-Funktion

Der im Knocheninneren liegende Markraum (rotes Kreuz) wurde mit dem Schwellenwertverfahren nicht erfasst und daher mit der “fill-Funktion“ nachsegmentiert.

4. **Bool’sche Operationen** werden dazu benutzt unterschiedliche Masken (Voxelmengen) zu kombinieren. NOT definiert alle Voxel, die nicht in der ausgewählten Menge sind. AND definiert alle Voxel, die in zwei Mengen gleichzeitig vorkommen. OR die Voxel, die entweder in der einen oder anderen Menge beinhaltet sind. XOR aktiviert alle Voxel, die weder in der einen, noch in der anderen Menge vorkommen.
5. Eine rein manuelle Bearbeitung der Maske ermöglicht die **“paint“-Funktion**. Sowohl in der Schnittbildbetrachtung, als auch in der dreidimensionalen Darstellung der Maske ist es möglich Voxel manuell zu entfernen oder hinzuzufügen (Abb. 13).

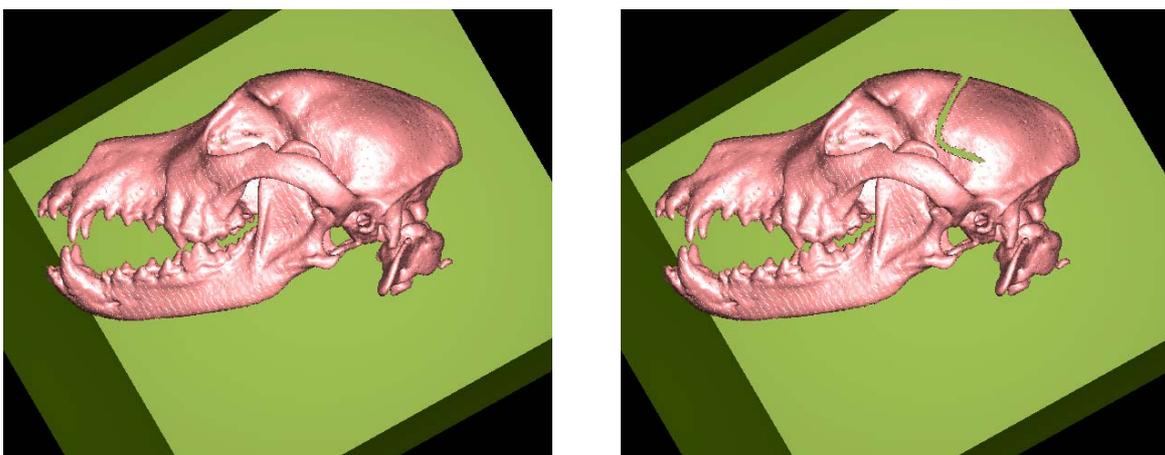


Abb. 13: Manuelle Bearbeitung der Maske im dreidimensionalen Raum mit der “paint“-Funktion

links: Die Maske im dreidimensionalen Raum dargestellt

rechts: Bearbeitung der Maske mittels der inversen “paint“-Funktion zur Segmentation des linken Os parietale

3.2.1.2 Segmentation im Kryodatensatz

Zur Segmentation der Kryoschnittbilder steht in *VOXEL-MAN* das RGB-Ellipsoid-Thresholding zur Verfügung. Dieses Verfahren arbeitet mit der Farbverteilung (rot, grün und blau = RGB) von Organen im RGB-Farbraum. Die Eigenschaft der meisten anatomischen Strukturen, sich als Spindel (3D-Ellipse) im RGB-Farbraum darzustellen, wird hierbei zur Segmentation genutzt (Abb. 14).

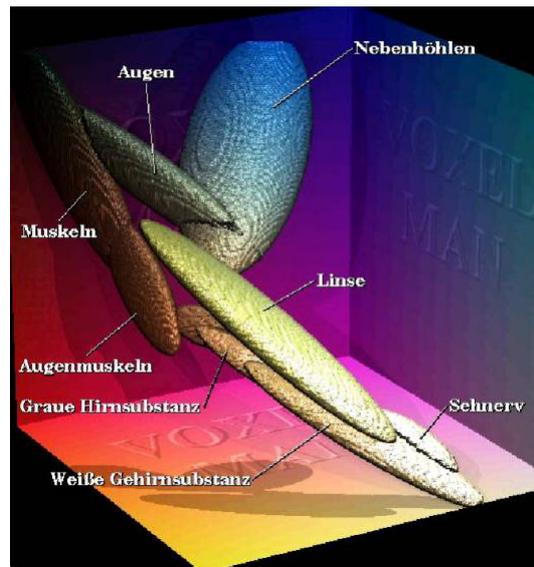


Abb. 14: Farbwertverteilung anatomischer Strukturen im RGB-Raum, ausgehend von anatomischen Schnittbildern; aus TIEDE (1999)

Die Darstellung der Farbverteilung anatomischer Strukturen im 3D-Farbraum (die Farbanteile rot, grün und blau als Achsen) zeigt eine annähernd spindelförmige Verteilung (3D-Ellipse). Je nach Qualität des zugrundeliegenden Datensatzes treten mehr oder weniger starke Überschneidungen auf.

Zuerst erfolgt die manuelle Auswahl der Farben, die vom Benutzer als “typisch“ für die zu segmentierende Struktur eingeschätzt werden. Anschließend wird eine dreidimensionale Ellipse basierend auf den ausgewählten Farbtupel berechnet. Diese auf statistische Analysen beruhende Berechnung kann durch Parametereinstellungen gesteuert werden. Alle RGB-Voxel, die in diese 3D-Ellipse fallen, werden daraufhin in die aktuelle Maske übernommen. Wie schon bei der CT Segmentation beschrieben kann die Maske im Anschluss weiter bearbeitet werden (siehe Kap. 3.2.1.1) (Abb. 15).

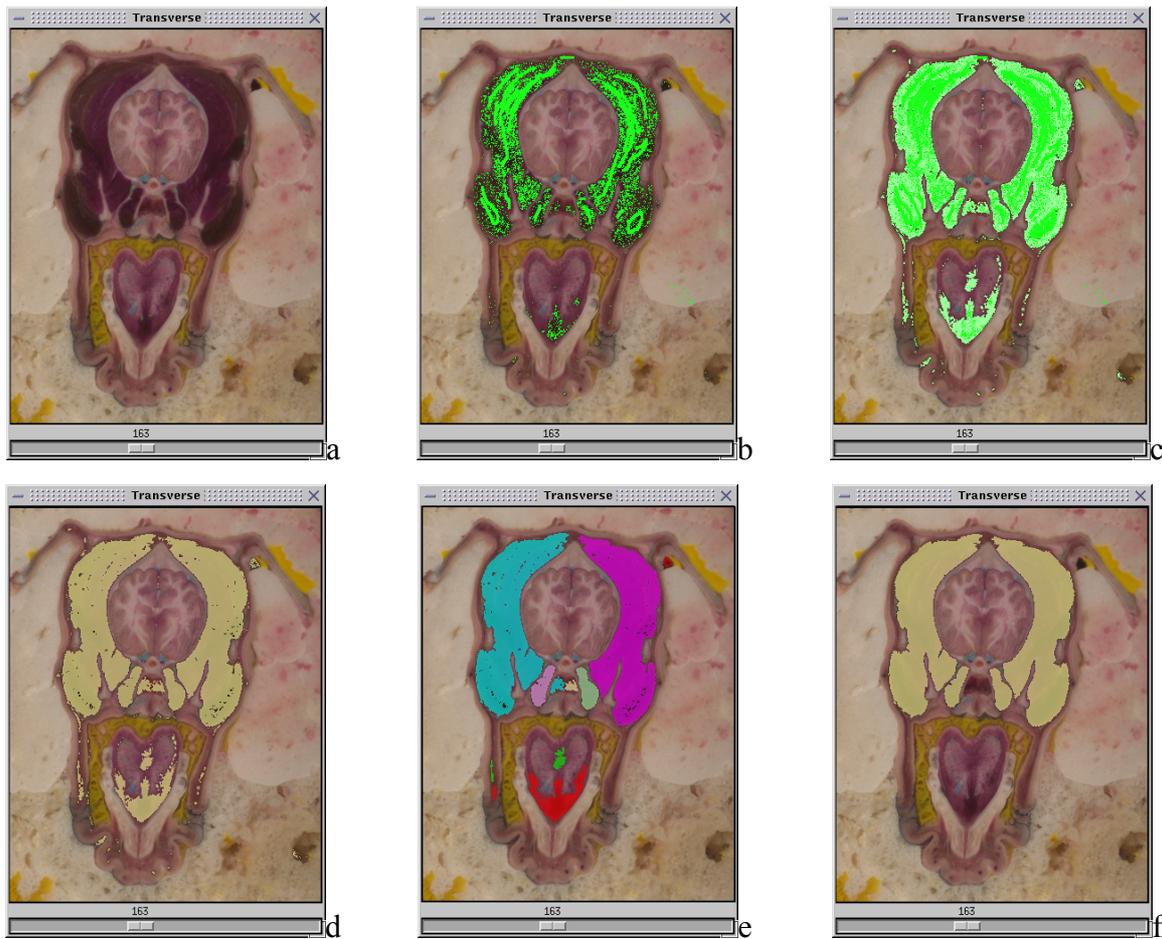


Abb. 15: Segmentation der Muskulatur im anatomischen Kryoschnittbilddatensatz

Für die Muskulatur typische Farbtupel werden im Schnittbild (a) markiert (b). Anschließend wird eine dreidimensionale Ellipse basierend auf den ausgewählten Farbtupeln im RGB-Raum berechnet. Alle Tupel, die in dieser Ellipse liegen, werden automatisch angezeigt (c) und in die aktuelle Auswahl übernommen (d). Durch Nachbearbeitung mit der connected components analysis (e) und der “fill“-Funktion wird das Segmentationsergebnis (f) abgerundet.

Mit dem RGB-Ellipsoid-Thresholding konnte im Kryo-Datensatz nur die Muskulatur in ihrer Gesamtheit segmentiert werden. Die übrigen Strukturen wurden manuell mit der “paint“-Funktion eingezeichnet.

Die Darstellung der Nerven und Gefäße erfolgte mit Hilfe des Tree-Edit. Dieses Werkzeug ermöglicht es, Röhren in den dreidimensionalen Raum zu legen, die Tree-Edit anhand von festgelegten Stützpunkten berechnet. Diese Stützpunkte sind in diesem Fall Kugeln, die der Anwender unter Berücksichtigung von anatomischen Strukturen in die zweidimensionalen Schnittbilder setzt. Die Kugeln werden dann von Tree-Edit zu einer Röhre verbunden und im 3-D Bild angezeigt, wobei sich immer ein kreisförmiger, hohler Querschnitt ergibt (Abb. 16).

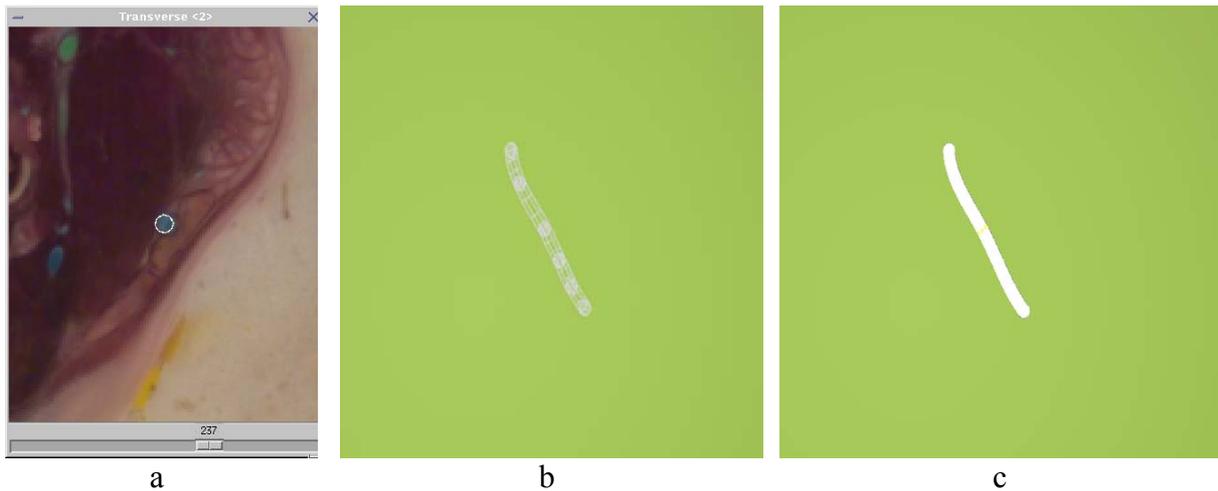


Abb. 16: Darstellung eines Gefäßes mit Hilfe des Tree-Edit

Ein kleiner kugelförmiger Marker wird im Schnittbild dort platziert, wo das darzustellende Gefäß sichtbar ist bzw. vermutet wird (a). Die Marker (b) wurden anschließend durch parabolische Kurven verbunden, so dass sich ein geschlossenes Gefäß ergibt (c).

3.2.1.3 Klassifikation und Speicherung

Nach erfolgreicher Segmentation eines Objektes wurde diesem ein Name und eine eindeutige Identifikationsnummer (UID¹⁹) zugeordnet. Die Namensgebung erfolgte entsprechend der Nomina Anatomica Veterinaria (International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclatur, 1994). Das Segmentationsergebnis wurde in einem separaten Datenvolumen (Label-Volumen) gespeichert. Diese Datei besteht aus einfachen Bytedaten, wobei jedes Voxel gemäß seiner Zugehörigkeit zu einer Struktur mit dessen UID gesetzt ist.

3.2.2 Visualisierungen

Die dreidimensionale Visualisierung des segmentierten Volumens erfolgte im *Atlas*-Modus von *VOXEL-MAN*. Die zugrunde liegende Rendering-Technik (Rendering; engl. to render = darstellen, wiedergeben) ist Volumen basiertes Ray-Casting (Tiede, 1999; Tiede et al., 1990). Mittels mathematischer Verfahren werden dabei die Grenzflächen der segmentierten Objekte berechnet und als Oberflächendarstellung abgebildet. Dabei bleiben alle Voxel eines Volumens erhalten, was die Eröffnung eines Objektes erlaubt.

Im *Atlas*-Modus kann man den anatomischen Strukturen bestimmte Visualisierungs-Parameter wie zum Beispiel Farbe, Transparenz und Reflexionsverhalten, zuordnen. Jede segmentierte

¹⁹ Unique IDentifier

Struktur ist selektiv darzustellen und mittels eines “Cut”-Menüs ist es möglich Teile aus- bzw. wegzuschneiden und somit Einschnitte in den Körper zu simulieren. Der Anwender kann mit diesen Funktionen die anatomischen Objekte nach Belieben arrangieren. Die so erstellten Szenen können durch Änderungen der Kameraeinstellungen weiter modifiziert werden. So sind beispielsweise der Hintergrund, die Blickrichtung, der Zoom und die Lichtquellen individuell einzustellen (Abb. 17).

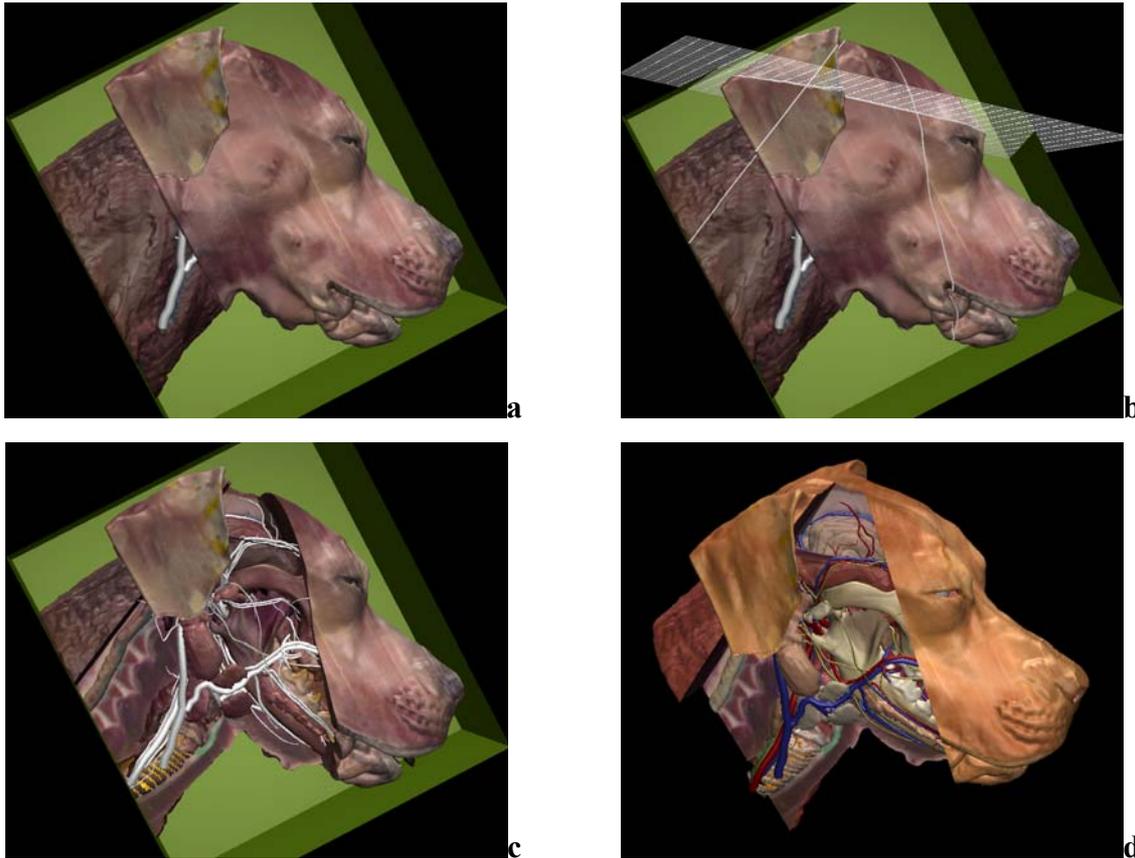


Abb. 17: Simulation von Einschnitten und Einstellung von Visualisierungsparametern

- a) Ausgangsszene; die Farbgebung entspricht den Originalfarben des Kryodatensatzes
- b) Setzen von Schnittebenen zur Simulation von Einschnitten
- c) Szene nach Entfernung angeschnittener Strukturen
- d) Szene nach Modifizierung der Farben und der Kameraeinstellungen

3.2.2.1 Erstellen der Virtual-Reality-Animationen (VR): “Intelligent Movies“

“Intelligent Movies“ (Schubert et al., 1999; Höhne et al., 1997b) sind Virtual-Reality-Animationen, bei denen alle Bilder einer Animation bereits vorgerechnet sind und nur noch vom PC angezeigt werden müssen. Bei der Darstellung wird das Quick Time Video Format von Apple™ verwendet, das es erlaubt durch Mausinteraktion das aktuelle am Monitor angezeigte Bild auszuwählen. Durch geschickte Anordnung von Bilderfolgen in einer 2D-Bildmatrix, in der die Einzelbilder der X- und Y-Achse jeweils verschiedene Aktionen verfolgen, wird die Illusion einer vom Benutzer „frei gewählten“ Interaktion mit dem Datensatz erzeugt (Abb. 21 und Abb. 22). Das Quick-Time Format ist bei “Intelligent Movies“ um eine zweite Bildmatrix, die die strukturspezifische UID enthält, erweitert. Durch Verknüpfung der UID mit Hintergrundinformation (siehe Kap. 3.2.2.2) kann jedes Bild einer solchen Animation befragt werden. Dies stellt den “intelligenten“ Teil des Movies dar (Abb. 18).

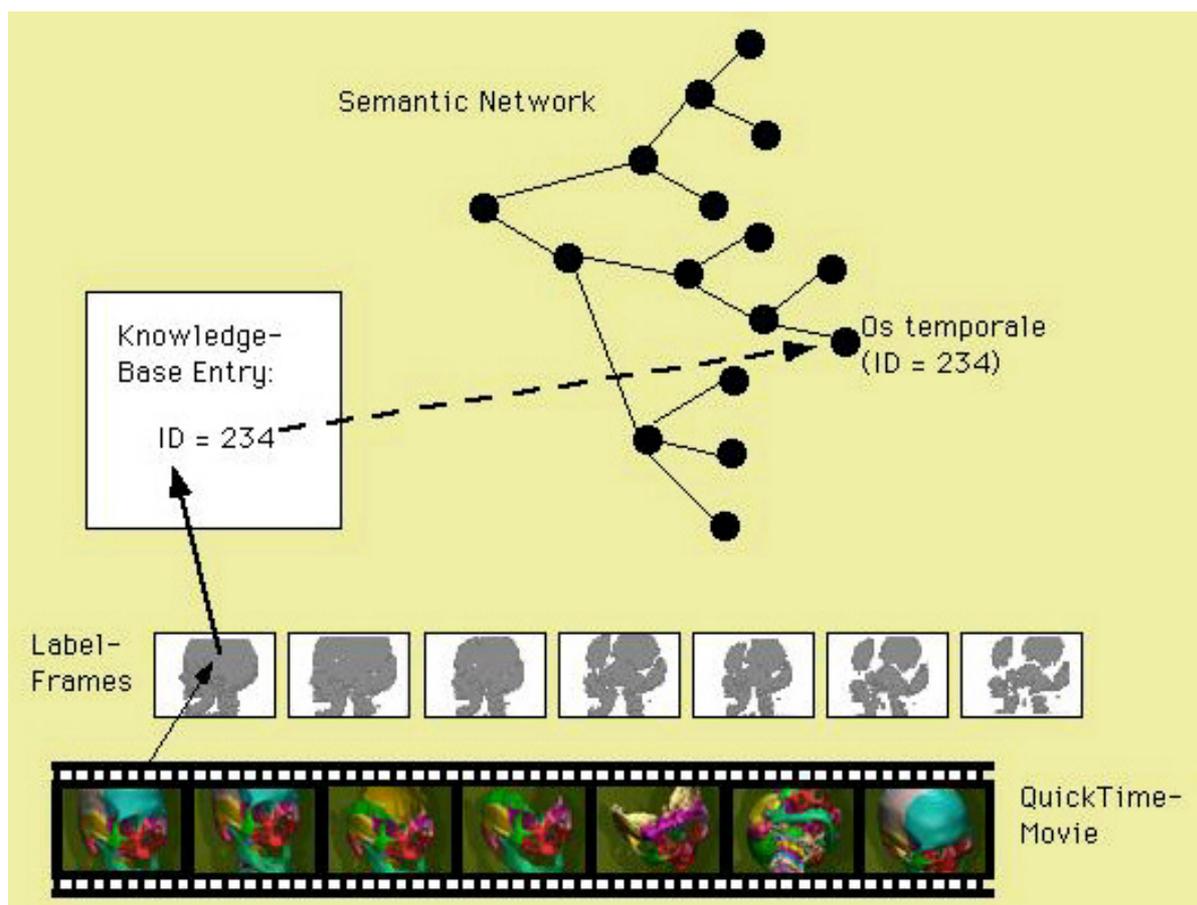


Abb. 18: Bildmatrix eines Intelligent Movie; aus SCHUBERT (1999)

Alle "Intelligent Movies" wurden im *Atlas*-Modus von *VOXEL-MAN* berechnet. Ein spezielles Tool erleichtert die Berechnung der Animationen, so dass nicht alle Bilder manuell entworfen werden müssen. Im einfachsten Fall werden Drehungen eines Objekts um die X-Achse und Y-Achse quasi selbständig vom Programm erarbeitet. Nach manueller Definition des Startbildes werden in einem speziellen Menü die Winkel und die Winkelschritte zwischen den Einzelbildern eingegeben. Die Berechnung der einzelnen Bilder übernimmt *VOXEL-MAN* dann vollautomatisch und gibt die Animation zusammen mit den kodierten Label-Bildern im QuickTime-Videoformat aus.

3.2.2.2 Erstellen der Hintergrundinformation

Als Hintergrundinformation wurde die Gliederung und Nomenklatur der Nomina Anatomica Veterinaria (International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature, 1994) gewählt. Sie wurde in Form zweier Dateien angelegt. In der ersten Datei befinden sich die einzelnen anatomischen Begriffe und ihre strukturspezifische UID. In der zweiten Datei sind die Informationen zur hierarchischen Verknüpfung der Begriffe enthalten. Ein im Hause entwickeltes Programm ermöglichte die semiautomatische Erstellung dieses hierarchischen Netzwerkes.

3.3 Einbindung in die Programmoberfläche *InsideDOG*

Die Intelligent Movies und die Hintergrundinformation wurden über die im „Visible Animal Project“ programmierte Programmoberfläche *InsideDOG* miteinander gekoppelt. Das fertiggestellte Programm wurde daraufhin auf einem PC unter Windows2000 kompiliert und getestet.

4 Ergebnisse

4.1 Labelvolumen

Entsprechend den zwei angeglichenen Volumendatensätzen (CT- und anatomischen Schnittbilddatensatz) ergab der Segmentationsvorgang einen dritten Volumendatensatz, das sogenannte Labelvolumen. Dieses enthält die segmentierten Strukturbeschreibungen. Aufgrund dieses Datensatzes sind einzelne Strukturen in den zwei anderen Volumendatensätzen nach Objektzugehörigkeit klassifiziert und selektiv ansprechbar. Strukturen, die in Form von Schlauchfiguren rekonstruiert wurden, sind nicht im Labelvolumen enthalten und können nur in den Animationen dargestellt werden. Derzeit sind 779 Strukturen segmentiert. Tab. 3 gibt eine Übersicht über die Anzahl der klassifizierten Strukturen der jeweiligen anatomischen Systeme.

Anatomisches System	Anzahl segmentierter Strukturen
Kreislauf-System	246
Nerven-System	191
Verdauungsapparat	58
Skelett	236
Muskulatur	11
Lymphatisches-System	8
Atmungsapparat	16
Körperoberfläche	1
Sinnesorgane	4
Endokrines-System	7
Sonstiges	1
Summe	799

Tab. 3: Anzahl der klassifizierten Strukturen der anatomischen Systeme

4.2 Das Lernprogramm *InsideDOG: The Head*

Den visuellen Rahmen des Lernprogramms bildet die *InsideDOG: The Head*-MainFrame. Dies ist ein übergeordnetes Fenster in dem die Movie-List und der Intelligent Movie-Viewer präsentiert werden.

4.2.1 Movie-List

Auf der Startseite von *InsideDOG: The Head* befindet sich eine Inhaltsübersicht, die 23 Animationen nach Themengebieten gegliedert präsentiert (Abb. 19). Die jeweiligen Filme werden als Symbol anhand ihres Startbildes und ihrem Titel vorgestellt. Der Aufruf eines Intelligent Movie erfolgt per Mausklick auf das entsprechende Symbolbild. Dadurch wird der Intelligent Movie-Viewer aktiviert, der sich anstelle der Inhaltsübersicht öffnet.

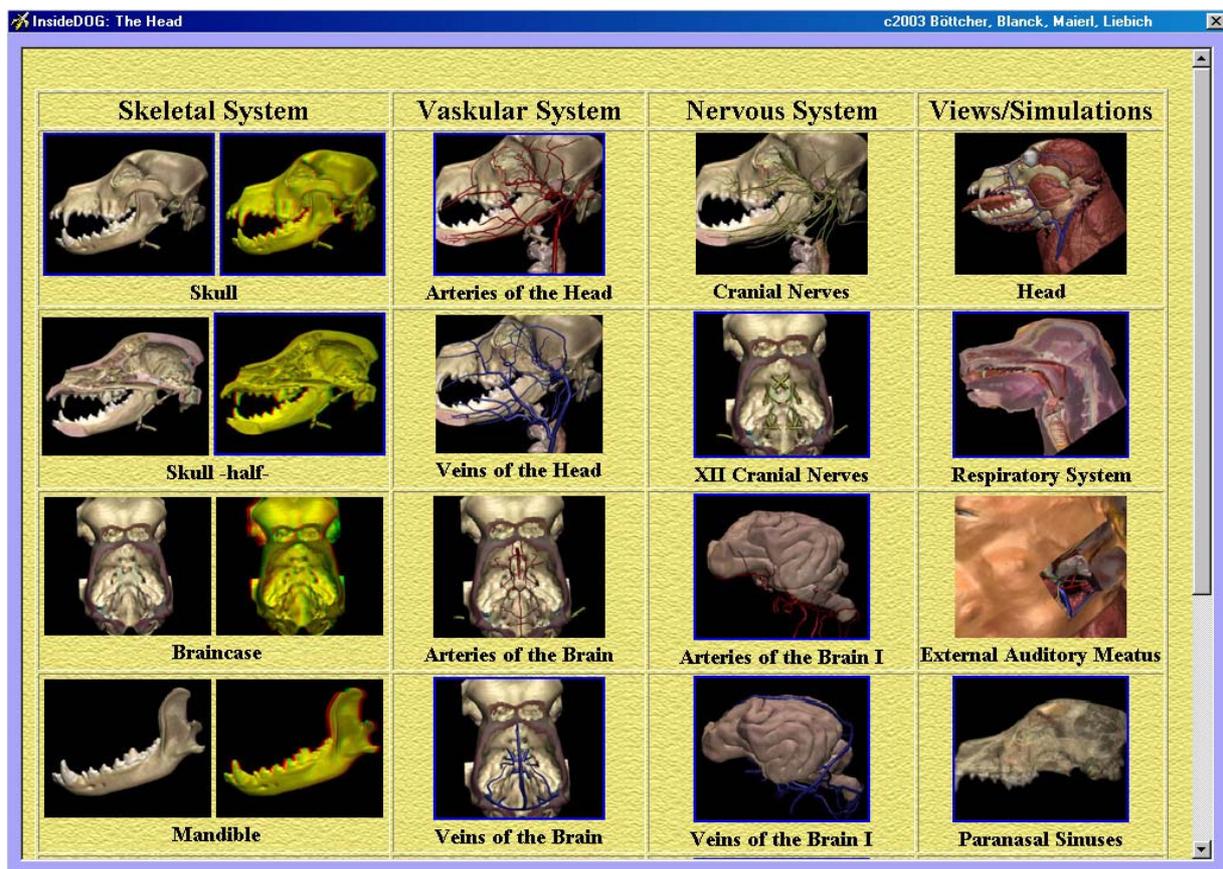


Abb. 19: MainFrame-Window mit der Movie-List

4.2.2 Intelligent Movie-Viewer

Der Intelligent Movie-Viewer basiert auf zwei Programmmodulen:

1. Animationsexplorer,
2. Strukturidentifikation über ein hierarchisches Netzwerk.

Die Verknüpfung der beiden Module auf Programmebene erfolgt über die *InsideDOG: The Head* MainFrame. Der Intelligent Movie-Viewer ist in vier Funktionsbereiche untergliedert (Abb. 20). Dies ist (1) der Bereich zur Auswahl und Steuerung der Intelligent Movies (a-e), (2) die List (f), (3) die Knowledge Base (g-i) und (4) der Animationsexplorer (j).

Im Animationsexplorer werden die Animationen angezeigt. Durch den speziellen Matrixaufbau der Intelligent Movies (siehe Kap. 3.2.2.1; Abb. 21 und Abb. 22) ist es möglich, bei gehaltener linker Maustaste, anhand vertikaler und horizontaler Mausbewegungen den Hundekopf entsprechend den vorberechneten Bildern zu drehen bzw. zu verändern. Eine Steuerung der Movies mittels Buttons ist ebenfalls möglich (Abb. 20b-e).

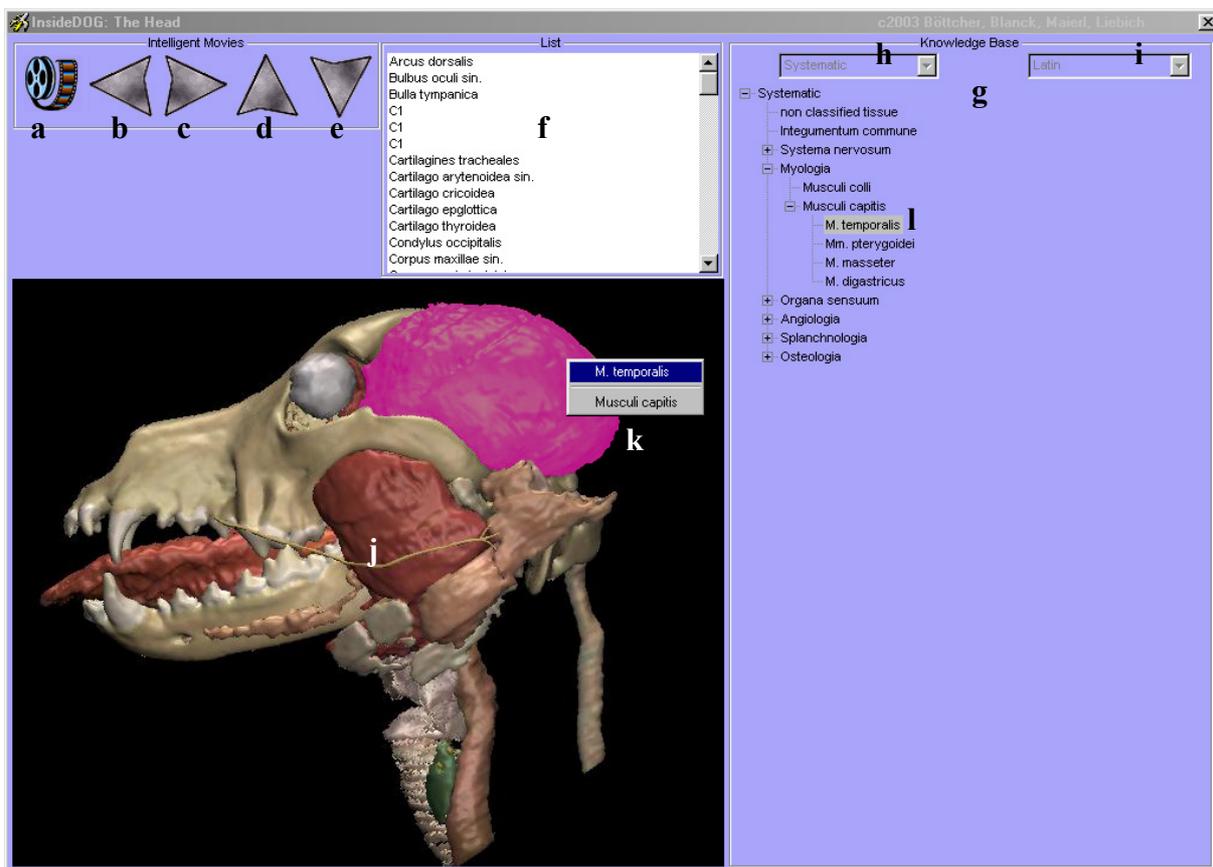


Abb. 20: MainFrame-Window mit dem Intelligent Movie-Viewer

In den 3D-Animationen können alle segmentierten Strukturen über einfaches Anklicken mit der rechten Maustaste identifiziert werden. Dabei wird die Verbindung zum hierarchischen Netzwerk geschaffen, die für das Bereitstellen der jeweiligen Strukturinformationen verantwortlich ist (siehe Kap. 3.2.2.2). Die lateinische Bezeichnung und der übergeordnete systematische Begriff werden in Form eines Popup-Menüs direkt neben dem Mauszeiger angezeigt (Abb. 20k). Mit Mausklick auf einem Begriff im Pop-up Menü wird die Knowledge Base aktiviert (Abb. 20l). Sie ermöglicht die Betrachtung einer Struktur innerhalb des hierarchischen Gesamtgefüges (Kap. 4.2.4).

Den Intelligent Movie Betrachter verlässt man über einen speziellen Button (Abb. 20a), der zurück zur Inhaltsübersicht führt.

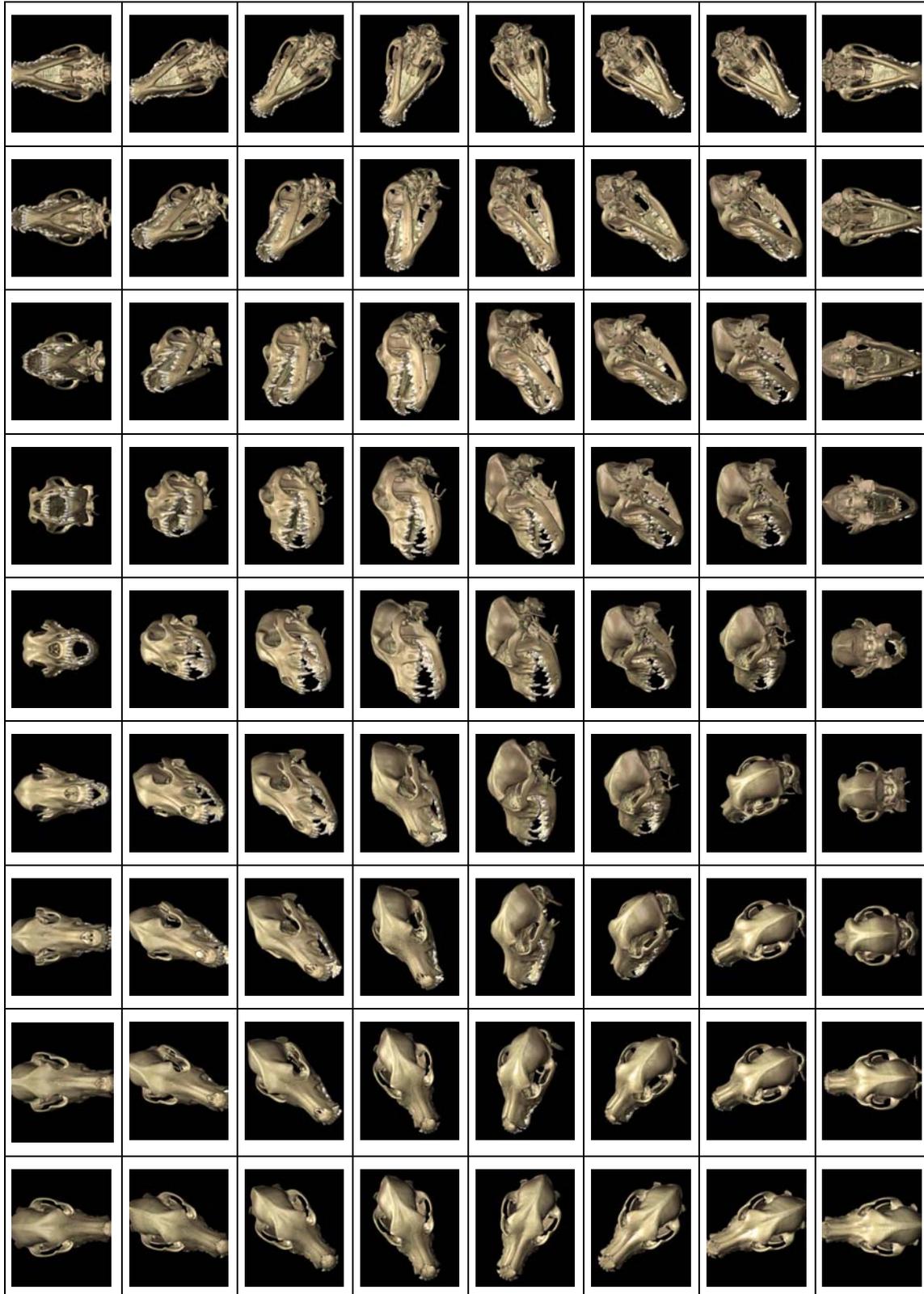


Abb. 21: Matrix des Intelligent Movie „Skull“
Durch vertikale und horizontale Mausbewegungen wird das 3D-Objekt rotiert. Die segmentierten Knochen können in jedem der Matrixbilder interaktiv befragt werden.

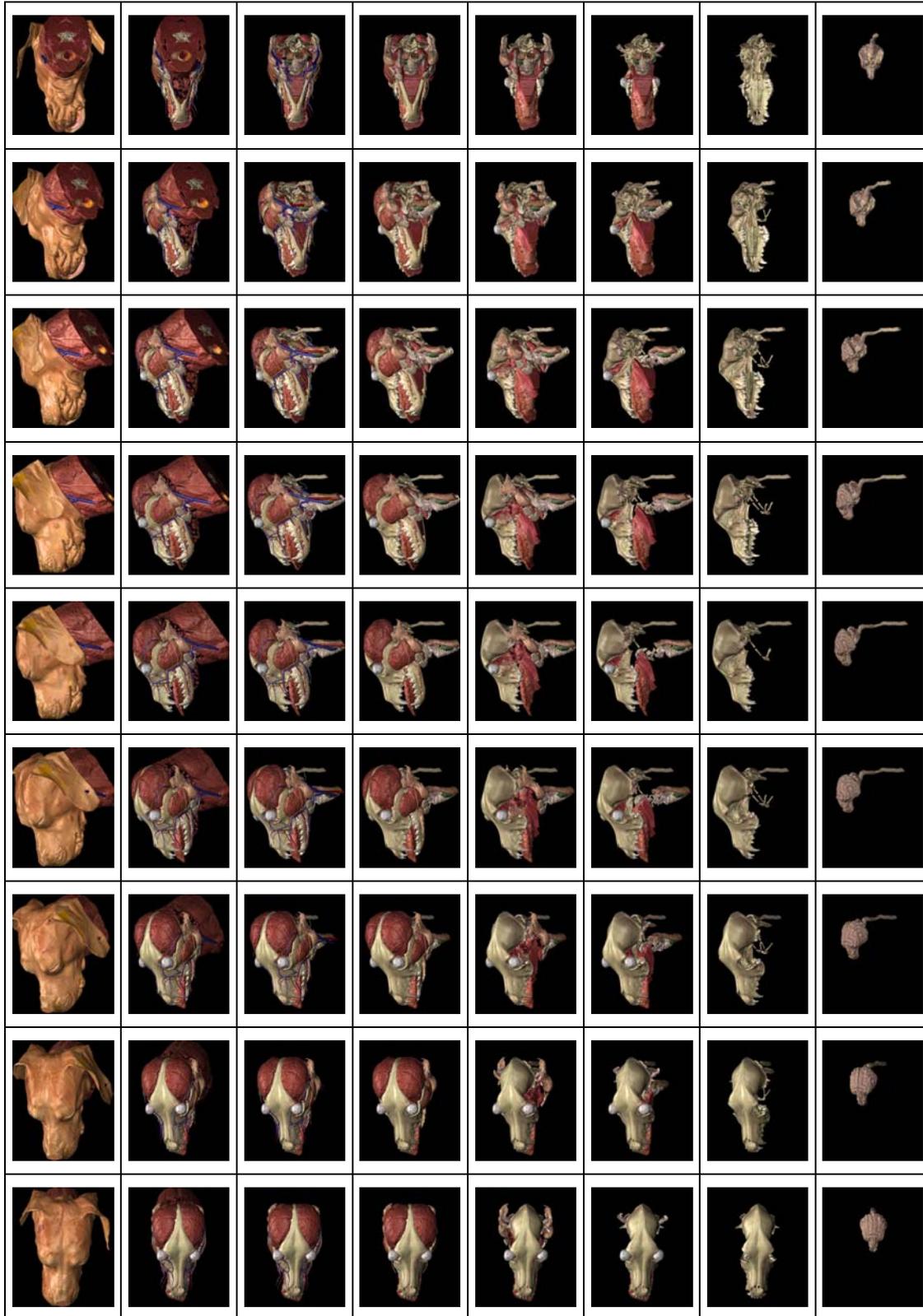


Abb. 22: Matrix des Intelligent Movie „Head“

Durch horizontale Mausebewegungen wird das Objekt rotiert; durch vertikale Mausebewegung werden Strukturen entfernt. Die dargestellten Strukturen können in jedem der Matrixbilder interaktiv befragt werden.

4.2.3 List

Die List (Abb. 20f) präsentiert in Form einer alphabetisch sortierten Tabelle, die in der jeweiligen Szene einer Animation sichtbaren Strukturen. Per Mausklick auf den Namen einer anatomischen Struktur, wird diese in der Animation durch Farbwechsel kenntlich gemacht.

4.2.4 Knowledge Base

Die Knowledge Base (Abb. 20g-h,l) präsentiert 1111 anatomische Objekte nach systematischen Kriterien miteinander verknüpft. Sie bietet direkten Zugriff auf das hierarchische Netzwerk und ermöglicht die Betrachtung einer Struktur in ihrem hierarchischen Gesamtgefüge (Abb. 20l) (siehe Kap. 3.2.2.2). Die Strukturidentifizierung von der Knowledge Base in die Intelligent Movies, als auch der umgekehrte Schritt sind möglich.

Die Knowledge Base ließe sich technisch problemlos um beispielsweise die funktionelle Anatomie erweitern. Der Wechsel zwischen systematischer und funktioneller Betrachtungsweise würde dann in einem eigenen Auswahl-Fenster (Abb. 20h) erfolgen und ist derzeit inaktiviert. Die technische Voraussetzung zum Wechsel zwischen verschiedenen Sprachen ist ebenfalls bereits in Form eines Auswahl-Fensters (Abb. 20i) in der Programmoberfläche implementiert.

4.2.5 Benutzerhinweise

Angaben zu den Hard- und Software Voraussetzungen zum Betrieb des Programms befinden sich auf der Rückseite der CD-Hülle. Eine Anweisung zum Start des Lernprogramms findet sich auf der Hülleninnenseite. Nach Programmstart steht eine Online-Hilfe zur Verfügung die durch Drücken der F1 Taste aktiviert werden kann.

5 Diskussion

5.1 Nutzung des „Visible Animal Project“ zur Erstellung des Lernprogramms

Das Erstellen eines hypermedialen Lernprogramms erfordert von einem Entwickler Fähigkeiten auf sehr unterschiedlichen Wissensgebieten. So müssen in der Regel neben Kenntnissen in Programmierung, Hard- und Software auch Erfahrungen auf gestalterischem Gebiet, wie beispielsweise in der Erstellung des programmprägenden Layouts und Designs vorhanden sein. Die Erstellung des eigentlichen Inhaltes erfordert wiederum sehr fachspezifische Kenntnisse, das unter Berücksichtigung der Mediendidaktik eingebracht werden muss. Diese sehr unterschiedlichen Kompetenzen können meist nicht von einer Person alleine erfüllt werden. Daher wird häufig ein interdisziplinäres Teamwork als eine Grundvoraussetzung für das Gelingen eines Programms angesehen (Issing, 1997; Bodendorf, 1995; Fishman et al., 1992). Genannt werden in diesem Zusammenhang meist mehr als vier verschiedene Fachleute aus den Bereichen Informatik, Mediendidaktik/Lernpsychologie, Graphik/Design und Fachdidaktik.

Während an englischsprachigen veterinärmedizinischen Fakultäten verschiedene zentrale Einrichtungen beschrieben sind, die mit ihrem interdisziplinärem Team Entwicklern bei der Erstellung von Programmen zur Seite stehen, existiert eine solche veterinärmedizinische Einrichtung in Deutschland bisher nur an der Fakultät in Berlin. Aus finanziellen Überlegungen war im Rahmen dieser Arbeit ein interdisziplinäres Teamwork nicht zu realisieren. Durch Nutzung des „Visible Animal Project“ konnte das Fehlen eines solchen Teams teilweise kompensiert werden. Die Verwendung der im VAP erzeugten Datensätze und erprobten Methoden zur dreidimensionalen Visualisierung, sowie die Programmoberfläche *InsideDOG*, ermöglichten es, die Kosten und die erforderliche Einarbeitungszeit in die unterschiedlichen Arbeitsbereiche möglichst gering zu halten.

Das Institut für Tieranatomie der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München wird zukünftig weitere Lernprogramme auf Basis des Visible Animal Project erstellen. So sind bereits Lernprogramme zum Pferde- und Rinderfuß in Vorbereitung. Zur weiteren Bündelung finanzieller Mittel, personeller Energien und Erfahrungen, ist die kooperative Entwicklung von Lernprogrammen mit MulTierMedia, VetMedia, CLIVE oder CONVINCEN anzustreben.

5.2 Segmentierung der Datensätze

Von der technischen Seite gibt es derzeit keine allgemeingültige Lösung, um medizinische Bilddaten zu segmentieren (Schiemann et al., 1997). Das verwendete *VOXEL-MAN*-System wurde für diese Arbeit gewählt, da es speziell zur Segmentierung anatomischer Volumendaten in der Humanmedizin entwickelt wurde und sich beim VAP bewährt hatte.

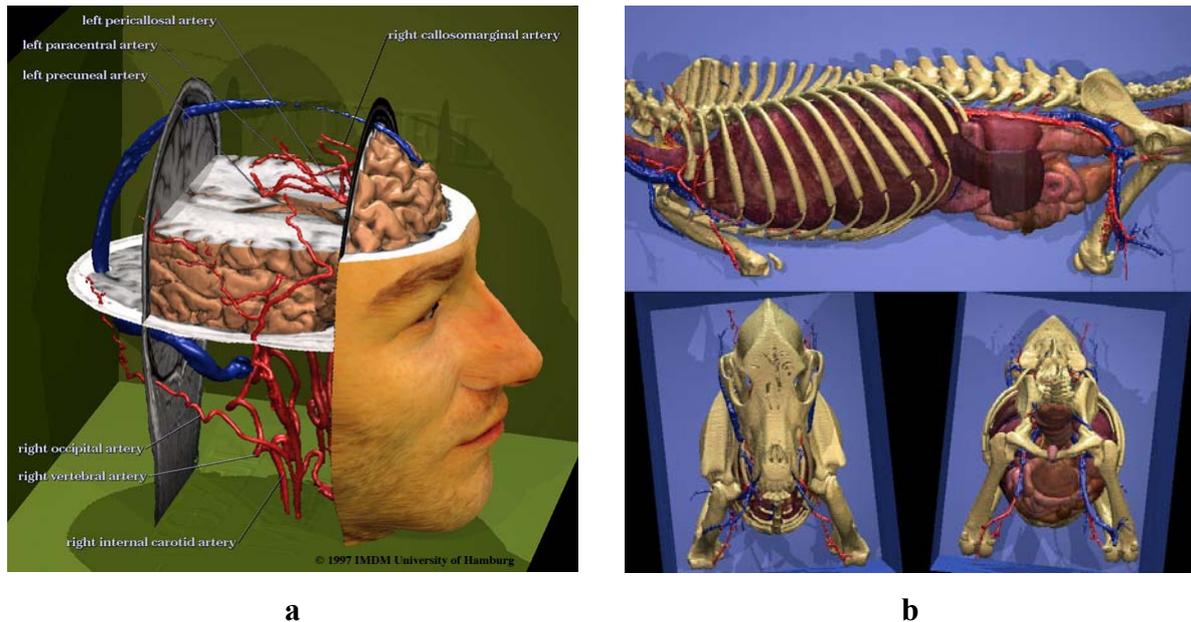


Abb. 23: Mit dem VOXEL-MAN-System erstellte dreidimensionale Rekonstruktionen

- a) IMDM²⁰
 b) VAP (Böttcher, 2000)

Die im *VOXEL-MAN*-System zur Verfügung stehenden semi-automatischen Verfahren lieferten bei der Segmentierung im CT-Datensatz gute Ergebnisse. So ließen sich Knochen, Körperoberfläche und lufthaltige Strukturen problemlos segmentieren.

Im Gegensatz zu den Erfahrungen des IMDM war die RGB-Ellipsoid-Thresholding Methode (siehe Kap.3.2.1.2) zur Segmentierung des Kryodatensatzes nicht sehr zufriedenstellend. Dies ist aber mit qualitativen Mängeln des verwendeten Datensatzes zu erklären. Ungenügender Kontrast der Organe zum umliegenden Gewebe, Verschmierungen im Schnittbild und ungleichmäßige Farbverteilung im Datensatz erschwerten die Segmentierung (Abb. 24).

²⁰ <http://www.uke.uni-hamburg.de/institute/imdm/idv/forschung/vasculature/> (06.04.03)

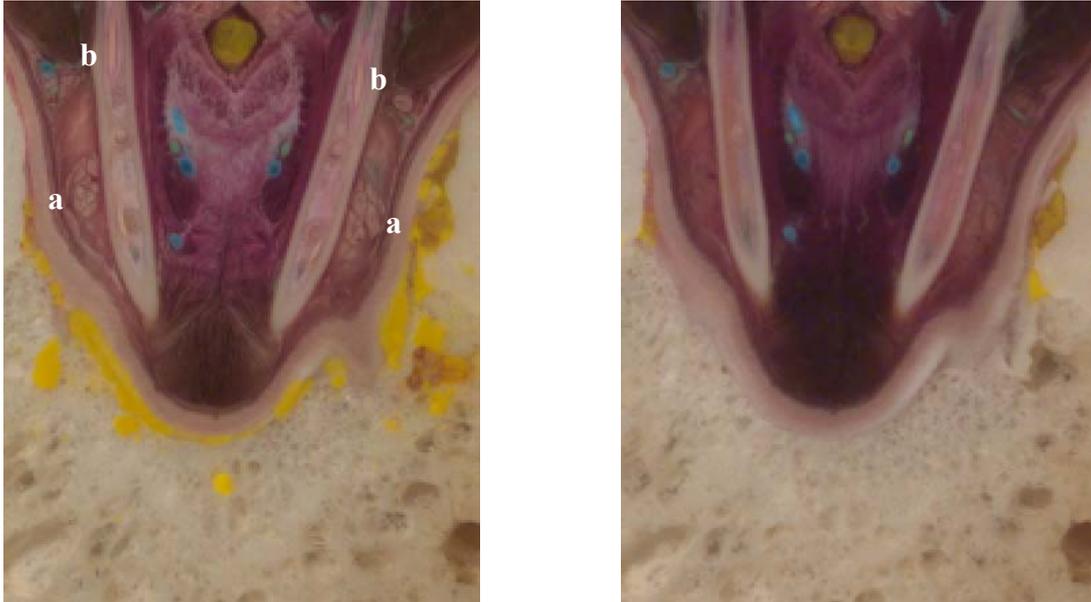


Abb. 24: Vergleich des Kontrast- und Farbunterschiedes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schnittbildern; die Schnittebene liegt im Unterkiefer

Im linken Schnittbild ist die Lappchenzeichnung der Gll. buccales (a) deutlich zu erkennen und sogar der N. alveolaris inferior (b) ist sichtbar. Ein Schnittbild weiter, wie im rechten Bild dargestellt, sind diese Strukturen aufgrund des Kontrast- und Farbunterschiedes nicht mehr zu identifizieren.

Die Mehrzahl der Strukturen musste daher manuell in die einzelnen Schnittbilder eingezeichnet werden. Dieses Vorgehen ist sehr zeitaufwendig und im Ergebnis den semiautomatischen Verfahren immer unterlegen. Eine detaillierte Segmentation des Gehirns war trotz größter Bemühungen nicht möglich, da die einzelnen Strukturen des Gehirns in den Schnittbildern nicht abzugrenzen waren. Um detaillierte Modelle eines Gehirns zu erstellen bedarf es MRT-Volumendaten des Gehirns. Ein solcher MRT Datensatz wurde zwar im Zuge des VAP erstellt, ist aber aufgrund seines hohen Schichtabstandes von 5 mm nicht für Segmentationszwecke geeignet.

Im Ergebnis ist es gelungen einen segmentierten Datensatz eines Hundekopfes bereitzustellen, der eine in der Veterinärmedizin unerreichte Anzahl unterschiedlicher anatomischer Strukturen des Kopfes umfasst. Die Qualität und Detailtreue der aus diesem Datensatz erstellten dreidimensionalen Rekonstruktionen ist im veterinärmedizinischen Bereich einzigartig.

Die erstellten Rekonstruktionen repräsentieren erstmals das volle Visualisierung-Potential der verwendeten Datensätze, das bisher im Rahmen des VAP nur ansatzweise erkundet wurde. In Hinblick auf die weitere Segmentierung der Datensätze, sollte ein vergleichbar gutes Ergebnis zu erzielen sein.

Die Visualisierung von Schnittbildanatomie ist mit dem Segmentationsergebnis nur bedingt möglich, da die Schnittebene des Kryo und CT-Datensatzes nicht der in Lehrbüchern üblichen

Schnittebene entspricht. Die Berechnung von Schnittbildern in der Standardschnittebene ist zwar technisch möglich, hätte jedoch einen nicht zu vertretenden Kontrastverlust zur Folge. Des weiteren ist der überwiegende Teil der Schlauchfiguren - die über die Hälfte aller Strukturen ausmachen - in den Schnittbildern, aufgrund des bereits beschriebenen Kontrastverlustes, nur teilweise zu erkennen. Ebenso verhält es sich mit den Gyri des Gehirns, die teils frei eingezeichnet werden mussten, da sie in vielen der Schnittbilder nicht eindeutig zu erkennen sind. Da jedoch bei dieser Arbeit die dreidimensionale Visualisierung anatomischer Strukturen für Lernzwecke im Vordergrund stand, wurde das angestrebte Visualisierungsziel erreicht.

5.3 Das Lernprogramm *InsideDOG: The Head*

Beim Studium der einschlägigen Lehrbücher und Atlanten wird deutlich, dass diese im Bereich der Illustration stark eingeschränkt sind. Mehr oder weniger perspektivische Zeichnungen oder Fotografien können nur begrenzt räumliche Eindrücke vermitteln, da die dafür notwendige Fülle der Blickrichtungen aus Wirtschaftlichkeit unterbleiben muss. Aufgrund der invasiven Natur von herkömmlichen Präparationsverfahren ist es auch in den limitiert stattfindenden Präparierübungen oft nicht möglich, die physiologische in situ Lage einiger Organe darzustellen. Präparate und Modelle sind für Studenten während der Öffnungszeiten der Sammlungen nur in begrenzter Zahl und Umfang zugänglich. Außerdem können viele dieser Studienhilfen aufgrund ihrer hohen Anschaffungskosten nur durch die Scheibe einer Vitrine betrachtet werden. Derzeitige veterinäranatomische Lernprogramme folgen meist dem klassischen Paradigma von Büchern und bieten eine Sammlung von vorgefertigten Bildern und Texten. Nur wenige Entwickler bieten den Studenten auch andere Medien. Die Vermittlung topographischer Zusammenhänge und die Bereitstellung geeigneter Lehrmaterialien stellt somit eine besondere Herausforderung in der anatomischen Lehre dar. Lernprogramme wie *InsideDOG: The Head* begegnen dieser Herausforderung, indem sie die computergestützte dreidimensionale Darstellung für die veterinäranatomische Lehre erschließen.

Das erstellte Programm ist der Präsentations- und Visualisierungssoftware zuzuordnen. Es stellt eine Ergänzung zu den traditionellen Lehr- und Lernformen dar, wo diese in der Möglichkeit der räumlichen Darstellung eingeschränkt sind. Voraussetzung für die Arbeit mit dem Lernprogramm ist ein bereits vorhandenes Grundwissen und die Bereitschaft des Benutzers, topographische Zusammenhänge festigen zu wollen. Die Möglichkeit selbst die Lerninhalte und -geschwindigkeit zu bestimmen fördert die aus konstruktivistischer Sicht wichtige „Indi-

visualisierung des Wissenserwerb“. Der Nutzer kann direkt auf die gewünschten Informationen zugreifen, ohne irgendwelchen starren, vorprogrammierten Sequenzen der Software folgen zu müssen. Als digitales Medium kann es außerdem kostengünstig und in großer Stückzahl produziert und damit einer breiten Benutzergruppe zugänglich gemacht werden. *Inside-DOG: The Head* kann daher als eine Art selbsterklärendes, privates Präparat betrachtet werden, das dem Studenten zu jeder Tages- und Nachtzeit zur Verfügung stehen wird.

5.3.1 Intelligent Movie

Uneingeschränkte Interaktionen mit dreidimensionalen Objekten, wie z. B. Objektanschnitte, sind nur möglich, wenn auf alle Volumenelemente eines Datensatzes Zugriff besteht und die Berechnung einer Szene am lokalen Rechner des Endanwenders gemäß seinen Vorstellungen durchgeführt wird. Des weiteren erfordert es detaillierte Objekte und aufwendige Beleuchtungsmodelle um hochauflösende, real erscheinende Rekonstruktionen zu berechnen. Dies setzt aber spezielle Hard- und Software voraus (Schubert et al., 1999), die beim Endanwender nicht erwartet werden kann (Böttcher, 2000). Verfolgt man das Ziel der freien Interaktion am lokalen Rechner, so muss man wie z.B. bei „Lucky the Virtual Dog“^{21,22} einfache Oberflächenbeschreibungen, verhältnismäßig unrealistische Beleuchtungsmodelle und den Verzicht, auf das gesamte Datenvolumen zugreifen zu können, in Kauf nehmen (Abbildung 25).

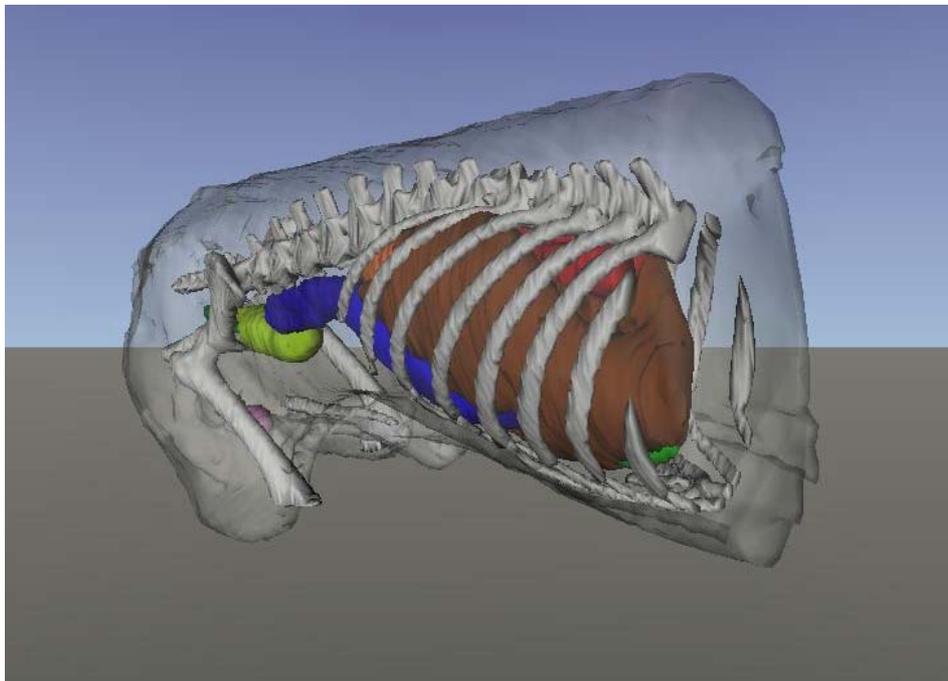


Abbildung 25: „Lucky the Virtual Dog“; aus Böttcher (2000)

²¹ <http://www.clive.ed.ac.uk/news/Newsletter2/virtual%20dog.htm> (06.04.03)

²² <http://www.cogsci.ed.ac.uk/~paulus/Work/Vetreports/vetrep1a-98.htm> (06.04.03)

Das in dieser Arbeit genutzte Konzept des Intelligent Movies bieten hier einen guten Kompromiss. Mit dem Einsatz der Intelligent Movies wird der Benutzer zwar in den Interaktionsmöglichkeiten mit den 3D-Objekten eingeschränkt, im Gegenzug ist es aber möglich, sehr aufwendige und realistische Rekonstruktionen anzubieten. Die berechneten Animationen sind in der Wiedergabe der zugrundeliegenden anatomischen Verhältnisse in Form, Farbe und Detail einzigartig in der Veterinärmedizin. Durch die bewusste Planung der Intelligent Movie-Matrix und das gezielte Angebot unterschiedlicher Animationen wird der Nachteil der eingeschränkten Interaktion minimiert.

Mit den Animationen, die unterschiedliche Aspekte der Anatomie des Hundekopfes repräsentieren, wird es dem Lernenden leichter fallen, topographische Zusammenhänge und Nomenklatur zu verinnerlichen. Die Vorteile der berechneten Intelligent Movies gegenüber den traditionellen Lehrmitteln in der anatomischen Lehre lassen sich folgendermaßen beschreiben:

1. Bislang mussten Studierende einen Großteil ihres geistigen Potentials darauf verwenden, die Informationen aus Texten und Bildern in ein dreidimensionales Gesamtgefüge zu vereinigen, um sich die Lage der Organe vorstellen zu können. Die 3D-Animationen machen diese mentale Rekonstruktion überflüssig. Anstelle des zeitaufwendigen und ermüdenden Vorgangs des „sich Vorstellens“ kann der Lernende die Situation intuitiv erfassen (Animation „Skull“ und „Head“).
2. Organe können in Relation zu ihrer Umgebung betrachtet werden, so dass ihre räumliche Beziehung zu den sie umgebenden Strukturen deutlich wird. So ist beispielsweise das Verständnis der Lage des N. facialis, der A. und V. temporalis superficialis und der V. auricularis caudalis zum Gehörgang für die Durchführung einer Gehörgangsresektion von besonderer Bedeutung (Schebitz und Brass, 1999). Die Animation „External Auditory Meatus“ verdeutlicht diese räumliche Beziehung auf eine realistische Art und Weise. Die Möglichkeit, verdeckte Strukturen im topographischen Zusammenhang sichtbar zu machen, ist ein weiterer Anwendungsbereich (Animation „Paranasal Sinuses“).
3. Die Darstellung von Organsystemen wie sie mit herkömmlichen Präparationsverfahren nicht zu realisieren ist, stellt am Computer kein Problem dar (Animation „Respiratory System“ und „Cranial Nerves“).
4. Die Möglichkeit das Modell virtuell zu präparieren, indem Strukturen entfernt und wieder hinzugefügt werden können, in Kombination mit der realistischen Wiedergabe der anatomischen Verhältnisse, vermittelt den Eindruck des Umgangs mit „echter“ Anatomie (Animation „Head“).

Ein wichtiger Kritikpunkt ist die unbefriedigende Detailtreue der dreidimensionalen Rekonstruktionen. So entziehen sich gerade kleinere Strukturen, wie z.B. Foramina, der befriedigenden Darstellung.

Die räumliche Auflösung von Rekonstruktionen aus Volumendatensätzen ließe sich wesentlich durch die Nutzung hochauflösender Schnittbildfolgen verbessern (Böttcher, 2000). Die Gewinnung solcher Datensätze gestaltet sich bisher problematisch und die erstellten Volumendaten wären aufgrund ihrer Größe auch mit leistungsstarken Computern kaum zu segmentieren (Höhne et al., 1995). Bis zur Lösung dieser Problematik stellen QTVR-Movies echter Präparate eine Alternative für die Darstellung anatomischer Details dar (Abb. 26). Wie bei den Intelligent Movies werden Fotografien eines echten Präparates in einer Matrix angeordnet. Dadurch wird es möglich, das Objekt scheinbar frei zu drehen bzw. zu präparieren. Im Gegensatz zu segmentierten 3D-Objekten fehlt allerdings der intelligente Teil der Matrix. Durch manuelle Segmentation jedes einzelnen Teilbildes oder mit Hilfe spezieller Software²³ könnte der intelligente Teil in diesen Animationen erzeugt werden.

Wie bei herkömmlichen Präparationen können QTVR-Movies echter Präparate nur das darstellen, was präparationstechnisch möglich ist. Außerdem muss zur Erstellung eines neuen Films jedes mal ein neues Präparat angefertigt werden. Im Gegensatz dazu erlaubt der in dieser Arbeit erstellte Datensatz die Berechnung einer nahezu unbeschränkten Anzahl von Animationen. QTVR-Movies echter Präparate sind daher als gezielte Ergänzung des Filmangebotes von InsideDOG: The Head sinnvoll und ihre Integration ließe sich auch technisch realisieren (Böttcher, 2000).

²³ <http://www.scanbull.net> (06.04.03)

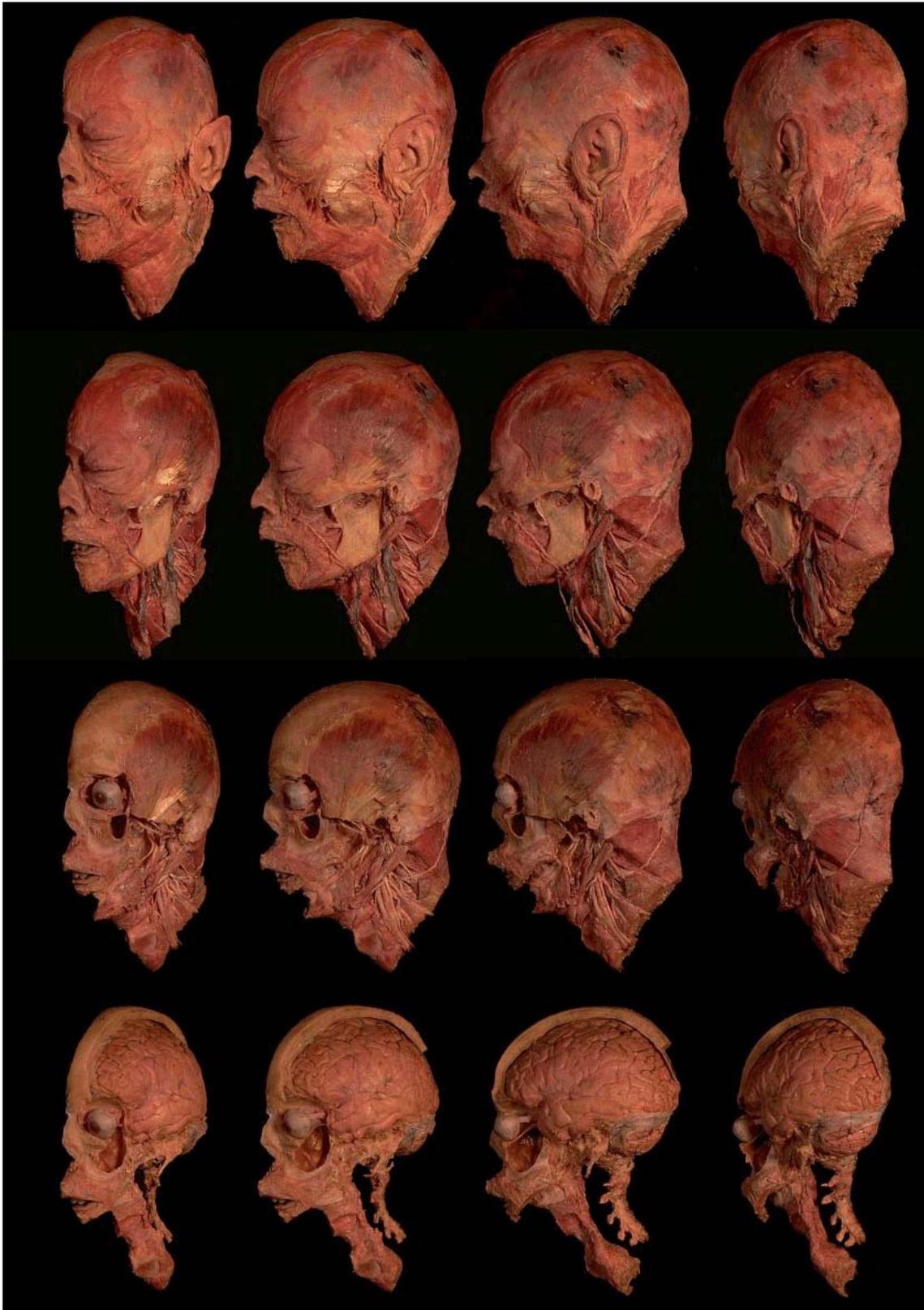


Abb. 26: Auszug aus einem QTVR-Movie eines präparierten menschlichen Schädels²⁴ (Departement of Anatomy, Wright State University School of Medicine)

²⁴ <http://www.anatomy.wright.edu/QTVR/QTVRhead> (06.04.03)

5.3.2 Strukturidentifizierung, Knowledge Base, List

Die Strukturidentifizierung, die Knowledge Base und die List stellen den „intelligenten“ Teil der Animationen dar. Die Möglichkeit in einem Lernprogramm die dargestellten Strukturen per Mausklick in jedem Bild einer 3D-Animation zu identifizieren ist im veterinärmedizinischen Bereich einzigartig. Im Gegensatz zu anderen Lehrmitteln erübrigt sich das aufwendige Suchen nach einer Bildbeschriftung.

Das zugrundeliegende hierarchische Netzwerk umfasst derzeit die systematische Einteilung der anatomischen Objekte. Aufgrund seines Programmaufbaus ist es zukünftig problemlos möglich weitere anatomische Betrachtungsweisen (z.B. nach Funktion oder Blutgefäßversorgung) zu integrieren. So könnte man einem Nerven, neben seinem Namen noch die Verknüpfung „innerviert ...“ zuweisen. Durch Verfolgen dieses Links würde das entsprechende Innervationsgebiet mit Worten beschrieben und in der Animation farblich markiert werden. Der Student könnte mit Hilfe dieses Links sofort erkennen welche Strukturen bei Schädigung des Nervens betroffen wären.

Das hierarchische Netzwerk steht nur in Verbindung mit der *InsideDOG*-Oberfläche zur Verfügung. Eine Auskopplung der Intelligent Movies zur Implementierung in andere Anwendungen hätte daher den Verlust des „intelligenten“ Teils zur Folge.

5.4 Weitere Anwendungsmöglichkeiten des segmentierten Datenvolumens

Ein Ergebnis dieser Arbeit ist das Modell eines Hundekopfes, repräsentiert durch einen segmentierten Volumendatensatz. Dieser Datensatz kann sowohl in der Lehre als auch bei wissenschaftlichen und klinischen Fragestellungen eingesetzt werden.

Neben der Berechnung von Animation lassen sich auch Bilder für Lehrbücher, Atlanten oder andere multimediale Systeme generieren (Abb. 27). Eine Möglichkeit zur Verbesserung der räumlichen Wahrnehmung bieten Stereo-Bilder. Die 3D-Berechnung erfolgt zweimal mit einer geringen Winkelabweichung von der normalen Sehachse. Die in rot und grün kodierte Bilder werden aufeinander gelegt, und mit Hilfe einer Rot/Grün-Brille wird den Augen nur jeweils ein Bild dargestellt. Dadurch ergibt sich ein räumlicher Eindruck der Szene, wie er vom 3D-Kino her bekannt ist.

Im wissenschaftlichen und klinischen Bereich stellt die Simulation von Untersuchungsmethoden und chirurgischen Eingriffen (Abb. 28 und Abb. 29) ein neues Betätigungsfeld dar. Einige dieser Anwendungen beruhen auf der virtuellen Präparation, Deformation und Bewegung anatomischer Volumendaten (Höhne et al., 1995). Diese Methoden zukünftig auf das in dieser Arbeit erstellte Hundekopfmodell anzuwenden ist anzustreben.

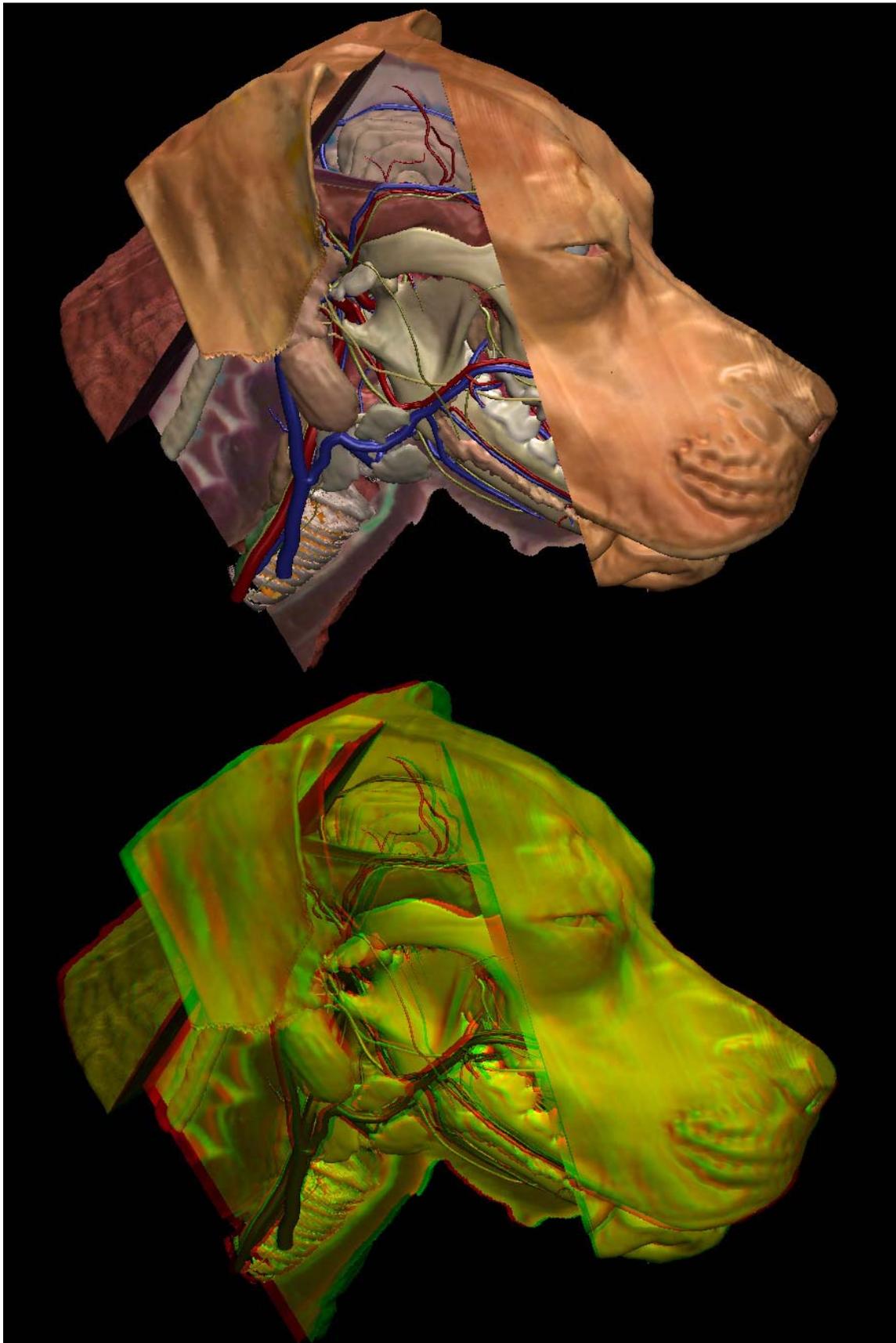


Abb. 27: Gegenüberstellung der herkömmlichen Visualisierung und der Stereo-Darstellung
Die Stereo-Darstellung verstärkt den räumlichen Eindruck; jedoch geht der Farbeindruck dabei verloren.

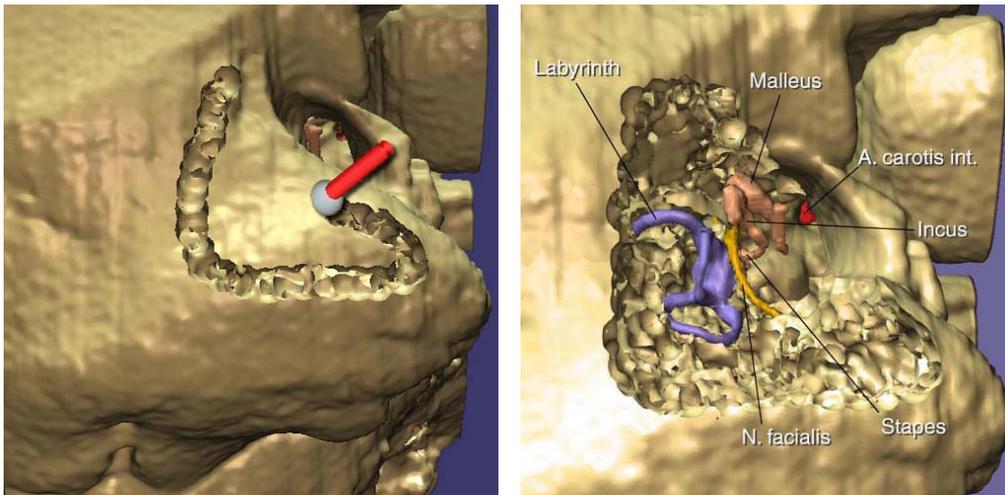


Abb. 28: Simulation der Felsenbeinchirurgie mit realistischer haptischer Interaktion anhand eines anatomischen Modells eines Menschen²⁵



Abb. 29: Simulierter Zugang zum Gehirn eines Menschen²⁵

²⁵ <http://www.uke.uni-hamburg.de/institute/imdm/idv/forschung/simulation/>

6 Schlussfolgerung

Das in dieser Arbeit erstellte Modell eines Hundekopfes umfasst eine in der Veterinärmedizin unerreichte Anzahl unterschiedlicher anatomischer Strukturen des Kopfes. Die mit *InsideDOG: The Head* präsentierten Animationen sind im veterinärmedizinischen Bereich einzigartig in ihren Darstellungsmöglichkeiten und Detailreichtum.

Mit dieser Arbeit ist man dem Ziel des VAP - der Präsentation des gesamten Hundekörpers in einem umfassenden Lernprogramm - ein gutes Stück näher gekommen. Als eine „Arbeit im Fortschritt“ wird sowohl das Modell als auch das Lernprogramm zukünftig wachsen.

Auch wenn virtuelle Welten momentan in der Tiermedizin noch stiefmütterlich behandelt werden, so ist ihr Einzug in veterinärmedizinische Bereiche doch abzusehen. Studenten mit diesen Technologien vertraut zu machen, sollte daher schon jetzt Aufgabe der vorklinischen und klinischen Ausbildung sein. Lernprogramme wie *InsideDOG: The Head* stellen einen ersten Schritt in diese Richtung dar. Aufgrund des kleinen Marktes für veterinärmedizinische Produkte fehlt es an investitionsstarken Partnern, um die zeitaufwendige und kostenspielige Entwicklung zu finanzieren. So wird es wahrscheinlich auch weiterhin Aufgabe der Universitäten bleiben solche Projekte umzusetzen. Dies geschieht derzeit in kleineren einzelnen Unternehmungen. Zur Bündelung finanzieller Mittel als auch personeller Energien ist eine stärkere Kooperation zwischen den veterinärmedizinischen Bildungsstätten notwendig. In einem solchen Verbund wird es auch in Zukunft möglich sein, den kontinuierlich steigenden medizinisch-technischen Fortschritt für die Tiermedizin zu nutzen. Die Gründung einer zentrale Einrichtung mit entsprechender technischer Ausstattung und Fachpersonal gilt es daher anzustreben.

7 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden Teilvolumina des CT- und Schnittbilddatensatzes des „Visible Animal Project“ mit dem *VOXEL-MAN*-System segmentiert und dreidimensional rekonstruiert. Im Ergebnis ist es gelungen ein 779 Strukturen umfassendes volumenbasiertes Computermodell eines Hundekopfes zu erstellen, das eine bisher unerreichte photorealistische Darstellung und Detailtreue bietet. Auf Basis dieses Modells wurden 23 „intelligente Animationen“ (Intelligent Movies) berechnet, die in Form des Visualisierungsprogramms *InsideDOG: The Head* zur Verfügung stehen. Die Intelligent Movies ermöglichen es dem Anwender das Modell scheinbar frei zu drehen bzw. zu verändern. Des Weiteren können alle segmentierten Strukturen mittels Mausektion identifiziert werden.

Das Lernprogramm ist eine ideale Ergänzung zu den traditionellen Lehr- und Lernformen, wo diese in der Möglichkeit der räumlichen Darstellung eingeschränkt sind. Die Visualisierungsmöglichkeiten der dreidimensionalen Animationen werden anhand ausgewählter Animationen verdeutlicht.

Neben der Berechnung von Intelligent Movies ermöglicht das Modell auch die Gestaltung von Bildern für Lehrbücher, Atlanten oder andere multimediale Systeme. Im wissenschaftlichen und klinischen Bereich stellt die Simulation von Untersuchungsmethoden und chirurgischen Eingriffen einen weiteren möglichen Einsatzbereich dar.

8 Summary

„InsideDOG: The Head“: Virtual Reality in Veterinary Anatomy

This thesis treats the volume segmentation and three-dimensional reconstruction of the CT and dissection image data sets of the „Visible Animal Project“ by means of the VOXEL-MAN-System. In consequence one has here succeeded in producing a volume data based computer model consisting of 779 structures detailing the anatomy of the head of a dog, providing a previously, until now unattainable photorealistic image representation and accuracy of detail. 23 „intelligent animations“ (intelligent movies) were calculated and compiled on the basis of this model, available by means of the visualisation program InsideDOG: The Head. The intelligent movies provide the user with the means of seemingly rotating and altering the model freely. Furthermore all segmented structures may be readily identified and accessed by mouse action.

The tutorial program provides an ideal supplement to traditional learning and teaching programs, limited as they are in their dimensional representation. The possibilities of visualisation of the three-dimensional animations are clarified and explained by means of specifically selected animations.

In addition to the calculation and measuring of intelligent movies the model also provides a means of compiling anatomical pictures and drawings for textbooks, atlases and other multimedia tutorial systems. This simulation of examination methods and surgical procedures provides also the possibility of being employed in scientific and clinical realms.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Inhaltsverzeichnis von VOXEL-MAN 3D-Navigator: Gehirn und Schädel.....	10
Abbildung 2: Animationsmenü von VOXEL-MAN 3D-Navigator: Gehirn und Schädel.....	11
Abbildung 3: Animation aus der CD-ROM "The Glass Horse"	13
Abbildung 4: Darstellung des "Lucky the Virtual Dog" am lokalen Rechner	14
Abbildung 5: Rotationsgraphik eines Hundeschädels.....	15
Abbildung 6: Darstellung des Skeletts in Zusammenhang mit den großen Organen und Gefäßen	16
Abbildung 7: Kryoschnittbilddatensatz (links) und CT-Datensatz (rechts) des „Visible Animal Project“.....	19
Abbildung 8: Segmentation des Knochens im CT Datensatz	23
Abbildung 9: Darstellung der Maske im Schnittbild (links) und in der Kamera (rechts).....	23
Abbildung 10: Darstellung der Maske in der Kamera nach erfolgter "connected components" Analyse.....	24
Abbildung 11: Erosion und Dilatation der Maske	24
Abbildung 12: Füllung von Löchern im Maskeninneren mittels der "fill"-Funktion.....	25
Abbildung 13: Manuelle Bearbeitung der Maske im dreidimensionalen Raum mit der "paint"- Funktion.....	25
Abbildung 14: Farbwertverteilung anatomischer Strukturen im RGB-Raum, ausgehend von anatomischen Schnittbildern.....	26
Abbildung 15: Segmentation der Muskulatur im anatomischen Kryoschnittbilddatensatz.....	27
Abbildung 16: Darstellung eines Gefäßes mit Hilfe des Tree-Edit	28
Abbildung 17: Simulation von Einschnitten und Einstellung von Visualisierungsparametern	29
Abbildung 18: Bildmatrix eines Intelligent Movie	30
Abbildung 19: MainFrame-Window mit der Movie-List	33
Abbildung 20: MainFrame-Window mit dem Intelligent Movie-Viewer.....	34
Abbildung 21: Matrix des Intelligent Movie „Skull“	36
Abbildung 22: Matrix des Intelligent Movie „Head“.....	37
Abbildung 23: Mit dem VOXEL-MAN-System erstellte dreidimensionale Rekonstruktionen	40
Abbildung 24: Vergleich des Kontrast- und Farbunterschiedes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schnittbildern.....	41
Abbildung 25: „Lucky the Virtual Dog“	43

Abbildung 26: Auszug aus einem QTVR-Movie eines präparierten menschlichen Schädels.	46
Abbildung 27: Gegenüberstellung der herkömmlichen Visualisierung und der Stereo-Darstellung.....	49
Abbildung 28: Simulation der Felsenbeinchirurgie mit realistischer haptischer Interaktion anhand eines anatomischen Modells eines Menschen.....	50
Abbildung 29: Simulierter Zugang zum Gehirn eines Menschen.....	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dimensionen der Teildatensätze des „Visible Animal Project“ vor der Anpassung zum isotropen Datensatz	20
Tabelle 2: Dimensionen der angepassten Volumendatensätze	21
Tabelle 3: Anzahl der klassifizierten Strukturen der anatomischen Systeme	32

Literaturverzeichnis

1. **Abt, M.** (2000): Entwicklung eines internetbasierten Informationssystems über bedeutende Infektionskrankheiten des Rindes und Erstellung eines firmenspezifischen Produktkataloges zu deren Prophylaxe und Behandlung. Diss. med. vet., Fachbereich Veterinärmedizin, Freie Universität Berlin, Berlin.
2. **Anderson, J.E., Umans, C., Halle, M., Golland, P., Jakab, M., McCarley, R.W., Jolesz, F.A., Shenton, M.E., Kikinis, R.** (1998): Anatomy Browser: Java-based interactive teaching tool for learning human neuroanatomy. Radiology Society of North American Electronic Journal 2:50-97. (<http://ej.rsna.org/ej2/0050-97.fin/index.html>)
3. **Aufenanger, S.** (1996): Die neuen Medien und die Pädagogik. Tendenzen in der Medienpädagogik. Bildung Erzieh 49; 4:449-460.
4. **Bacro, T., Gilbertson, B., Coultas, J.** (2000): Web-delivery of anatomy video clips using a CD-ROM. Anat Rec 261; 2:78-82.
5. **Baumgartner, P., Payr, S.** (1999): Lernen mit Software, 2. Studien-Verl., Innsbruck, Wien, München.
6. **Beck, W., Hecht, S., Matis, U.** (2000): Three-dimensional reconstruction of computed tomography transverse images for visualization of complex skull fractures in the cat. Tierärztl Prax 28; 4:219-224.
7. **Bodendorf, F.** (1995): Computer in der fachlichen und universitären Ausbildung. In: Handbuch der Informatik, Endres, A. (Hrsg.), 15.1:47-70. Oldenbourg, München.
8. **Böttcher, P.** (2000): The Visible Animal Project. Virtuelle Realität in der Veterinär-anatomie. Diss. med. vet., Institut für Tieranatomie, Ludwig-Maximilians-Universität, München.
9. **Boyd, J.S., Paterson, C.** (2001): Color Atlas of Clinical Anatomy of the Dog and Cat. Mosby, Chicago.

10. **Budras, K.D., Fricke, W., Richter, R.** (2000): Atlas der Anatomie des Hundes. Schlütersche, Hannover.
11. **Ellis, H.D., Michell, A.R.** (1993): Computer technology in the education process - the whys and the wherefores. In: The advancement of veterinary science. The Bicentenary Symposium Series, Michell, A.R. (Hrsg.), Volume II Veterinary education - the future:139-146. CAB International, Wallingford.
12. **Euler, D.** (1992): Didaktik des computergestützten Lernens. Praktische Gestaltung und theoretische Grundlagen. BW Verlag, Nürnberg.
13. **Fishman, E.K., Ney, D.R., Hennessey, J.G., Nixon, M.S.** (1992): Computer-based radiological teaching programs: The challenge and trauma of development and implementation. Semin Ultrasound CT MR 13; 2:113-121.
14. **Franca, C., Levin, P.D., Sehgal, V., Chen, G.T., Ramsey, R.G.** (2000): Use of three-dimensional spiral computed tomography imaging for staging and surgical planning of head and neck cancer. J Digit Imaging 13; 2:24-32.
15. **Friker, J., Ehlers, J.P., Stolla, R., Liebich, H.G.** (2001): Entwicklung von Lernprogrammen - Fallbeispiele aus der Tiermedizin. In: Med Ausbildung, Eitel, F., Gostomzyk, J., Habeck, D., Hoppe, J.D. (Hrsg.), 18:181-185. Thieme, Stuttgart, New York.
16. **Friker, J., Liebich, H. G.** (2001): Interaktives Bilderwörterbuch - Schädel des Hundes (CD-ROM). Institut für Tieranatomie, Ludwig-Maximilians-Universität München, München.
17. **Galland, J. C., Oberst, R. D., Lorenz, M. D., Mosier, D. A.** (1995): Interactive multimedia and case-based learning in veterinary medicine - the quantum leap approach. J Vet Med Edu 22; 1:12-16.
18. **Glass-Horse-LCC** (2001): The Glass Horse, Version 1.1. University of Georgia.

19. **Gruber, H., Mandl, H., Renkl, A.** (1999): Was lernen wir in Schule und Hochschule: Träges Wissen? Forschungsbericht Nr. 101. Institut für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie, Ludwig-Maximilians-Universität, München.
20. **Han, J., Kim, J., Lee, D., Lee, J., Kim, J., Park, K., Kang, H.** (2002): Three-dimensional visualization of human vocal organ on the web. *J Digit Imaging* 15:264-266.
21. **Han, M., Kim, C.** (1995): Sectional human anatomy. Igaku-Shoin, New York.
22. **Handels, H., Ehrhardt, J., Plotz, W., Poppl, S. J.** (2001): Three-dimensional planning and simulation of hip operations and computer-assisted construction of endoprostheses in bone tumor surgery. *Comput Aided Surg* 6; 2:65-76.
23. **Haschke, G., Diener, M.** (1999): Interactive learning for the training of veterinarians: Development of a multimedia programme for physiology. *Pferdeheilkunde* 15; 2:184-186.
24. **Hasebrook, J.P.** (1995): Lernen mit Multimedia. *ZfPP* 9; 2:95-103.
25. **Henn, J.S., Lemole, G.M., Ferreira, M.A.T., Gonzalez, L.F., Schornak, M., Preul, M.C., Spetzler, R.F.** (2002): Interactive stereoscopic virtual reality: A new tool for neurosurgical education. Technical note. *J Neurosurg* 96; 1:144-9.
26. **Hiroshige, S., Nishizaki, T., Soejima, Y., Hashimoto, K., Ohta, R., Minagawa, R., Shimada, M., Honda, H., Hashizume, M., Sugimachi, K.** (2001): Beneficial effects of 3-dimensional visualization on hepatic vein reconstruction in living donor liver transplantation using right lobe graft. *Transplant* 72; 12:1993-6.
27. **Hofmann, W.** (1998): Neue Tierärztliche Approbationsordnung verabschiedet. *Dtsch Tierärztebl* 9:899-902.
28. **Höhne, K.H., Hanson, A.** (1992): Interactive 3D-segmentation of MRI and CT volumes using morphological operation. *J Comput Assist Tomogr* 16; 2:285-294.

-
29. **Höhne, K.H., Petersik, A., Pflesser, B., Pommert, A., Priesmeyer, K., Riemer, M., Schiemann, Th., Schubert, R., Tiede, U., Urban, M., Frederking, H., Lowndes, M., Morris, J.** (2001): VOXEL-MAN 3D-Navigator: Gehirn und Schädel. Springer Electronic Media, Berlin, Heidelberg, New York.

 30. **Höhne, K.H., Pflesser, B., Pommert, A., Priesmeyer, K., Riemer, M., Schiemann, Th., Schubert, R., Tiede, U., Frederking, H., Gehrman, S., Noster, S., Schuhmacher, U.** (2000): VOXEL-MAN 3D-Navigator: Innere Organe. Springer Electronic Media, Berlin, Heidelberg, New York.

 31. **Höhne, K.H., Pflesser, B., Pommert, A., Riemer, M., Schiemann, Th., Schubert, R., Seebode, Ch., Tiede, U.** (1997a): VOXEL-MAN Part 1: Brain and skull, Version 2.0. Springer Electronic Media, Berlin, Heidelberg, New York.

 32. **Höhne, K.H., Pflesser, B., Pommert, A., Riemer, M., Schiemann, Th., Schubert, R., Tiede, U.** (1995): A new representation of knowledge concerning human anatomy and function. *Nat Med* 1; 6:506-511.

 33. **Höhne, K.H., Riemer, M., K., Priesmeyer, Riemer, M., Schiemann, Th., Schubert, R., Tiede, U., Wulf, H. CH.** (1997b): Exploring the Visible Human via "intelligent movies". *Radiology* 201; P:564.

 34. **Holmes, M.A., Nicholls, P.K.** (1996): Computer-aided veterinary learning at the University of Cambridge. *Vet Rec* 138; 9:199-203.

 35. **International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature** (1994): *Nomina Anatomica veterinaria*, 4. International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature, Zürich, Ithaca, NY.

 36. **Issing, J.** (1997): Instruktionsdesign für Multimedia. In: *Information und Lernen mit Multimedia*, Issing, J., Klimsa, P. (Hrsg.), 2:195-220. Psychologie Verlags Union, Weinheim.

37. **Issing, L.J., Strzebkowski, R.** (1995): Lehren und Lernen mit Multimedia. *Medienpsychologie* 7; 4:286-319.
38. **Jones, J. C.** (2000): Three-dimensional computed tomography: User-friendly images. *Comp Cont Ed Pract Vet* 22; 6:562-566.
39. **Kaneps, A.J., Koblik, P.D., Freeman, D.M., Pool, R.R., O' Brien, T.** (1995): A comparison of radiography, computed tomography, and magnetic resonance imaging for the diagnosis of palmar process fractures in foals. *Vet Radiol Ultrasound* 36; 6:467-477.
40. **Kaufmann, C.R.** (2001): Computers in surgical education and the operating room. *Ann Chir Gynaecol* 90; 2:141-6.
41. **Kerr, J.P., Sellberg, M., Ratiu, P., Knapp, D., Caon, Ch.** (1996): Photorealistic volume rendered anatomical atlases and interactive virtual dissections of the dissectable humanTM. In: Proceedings of the Visible Human Project Conference, Bethesda, MA, (Hrsg.), National Institutes of Health, National Library of Medicine, Bethesda, MA (CD-ROM).
42. **Kikinis, R., Gleason, P.L., Moriarty, Th.M., Moore, M.R., Alexander, E., Stieg, P.E., Matsumae, M., Lorensen, W.E., Cline, H.E., Black, P.M., Jolesz, F.A.** (1996): Computer assisted interactive three-dimensional planning for neurosurgical procedures. *J Neurosurg* 38; 4:640-651.
43. **Kling, P.T., Pascher, R., Rydmark, M.** (1999): Virtual reality on the web: The potentials of different methodologies and visualization techniques for scientific research and medical education. *Stud Health Technol Inform* 62:181-6.
44. **König, H.E., Liebich, H.G.** (1999a): Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. Band I Bewegungsapparat. Schattauer, Stuttgart.

-
45. **König, H.E., Liebich, H.G.** (1999b): Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. Band II Organe, Nerven- und Kreislaufsystem. Schattauer, Stuttgart.
 46. **Kuhlen, R.** (1991): Hypertext: Ein nicht lineares Medium zwischen Buch und Wissensbank. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
 47. **Lamade, W., Glombitza, G., Demiris, A.M., Cardenas, C., Meinzer, H.P., Richter, G., Lehnert, T., Herfarth, C.** (1999): Virtuelle Operationsplanung in der Leberchirurgie. *Chirurg* 70; 3:239-45.
 48. **Longstaffe, J.A.** (1993): Introduction to computer-based learning and multimedia in veterinary and medical education. In: *Veterinary education - the future*, Michell, A.R. (Hrsg.), 2:147-161. CAB International, Wallingford, Oxon.
 49. **Mader, G.** (1999): Virtuelles Lernen: Begriffbestimmung und aktuelle empirische Befunde. Studien-Verl., Innsbruck, Wien.
 50. **Maes, F., Collignon, A., Vandermeulen, D.** (1997): Multimodality image registration by maximization of mutual information. *IEEE Trans Med Imaging* 16:187-198.
 51. **Maierl, J., Böttcher, P., Zechmeister, R., Glaser, C., Reiser, M., Gerhards, H., Liebich, H.G.** (1998): EquineDigit. In: *Proceedings of XXII Congress of the European Association of Veterinary Anatomists 26.-30.7.1998*, Neapel.
 52. **Mandl, H., Gruber, H., Renkl, A.** (1992): Lernen mit dem Computer: Empirisch-pädagogische Forschung in der BRD zwischen 1970 und 1990. Forschungsbericht Nr. 7. Institut für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie, Ludwig-Maximilians-Universität, München.
 53. **Mandl, H., Gruber, H., Renkl, A.** (1994): Lehren und Lernen mit dem Computer. Forschungsbericht Nr. 30. Institut für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie, Ludwig-Maximilians-Universität, München.

-
54. **Marks, S.C.** (2000): The role of three-dimensional information in health care and medical education: The implications for anatomy and dissection. *Clin Anat* 13; 6:448-52.
 55. **Oldhafer, K.J., Preim, B., Dorge, C., Peitgen, H.O., Broelsch, Ch.E.** (2002): Akzeptanz einer computergestützten Operationsplanung in der Viszeralchirurgie - Ergebnisse einer bundesweiten Befragung. *Zentralbl Chir* 127; 2:128-33.
 56. **Pach, M., Ditmar, R., Herman, M.** (1999): Our experience with 3D CT. *Acta Univ Palacki Olomuc Fac Med* 142:97-102.
 57. **Peissner, A.L., Frank, K.** (2001): Three-dimensional representation of the cerebral ventricular system of dogs and cats using computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) scans. Comparison with anatomical ventricular corrosion casts. *Tieraerztl Prax* 29; 5:280-288.
 58. **Petersik, A., Pflessner, B., Tiede, U., Höhne, K.H., Leuwer, R.** (2002): Die realistische haptische Interaktion mit anatomischen Modellen für die Simulation der Felsenbeinchirurgie. In: *Bildverarbeitung für die Medizin 2002: Algorithmen - Systeme - Anwendungen*, Informatik Aktuell, Meiler, M. et al. (Hrsg.):129-132. Springer, Berlin.
 59. **Pfeifer, T., Leutner, D.** (1997): Computerbasierte Lernmedien: Was sind computerbasierte Lernmedien. In: *Qualitätsmanagement multimedial vermitteln: Entwicklung und Einsatz computerbasierter Lernmedien*, Pfeifer, T., Leutner, D. (Hrsg.). Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
 60. **Pommert, A., Riemer, M., Schiemann, Th., Schubert, R., Tiede, U., Höhne, K.H.** (1994a): Knowledge-based and 3D imaging system in medical education. In: *Proceedings of Information Processing '94. Proc IFIP 13. World Computer Congress*, Brunstein, K., Raubold, E. (Hrsg.), Vol. II Applications and Impacts:525-532. IFIP Transactions, Amsterdam.
 61. **Pommert, A., Schubert, R., Riemer, M., Schiemann, T., Tiede, U., Höhne, K.H.** (Hrsg.) (1994b): *Symbolic Modeling of Human Anatomy for Visualization and Simulation*. Rochester, MN.

62. **Provo, J.A., Lamar, C.H., Bill, R.L.** (1996): Increasing student-centered learning opportunities in a veterinary comparative anatomy course. *J Am Med Inform Assoc* 23; 1:16-20.
63. **Pschorn, G.** (1998): Kommentar: Neue Tierärztliche Approbationsordnung verabschiedet. *Dtsch Tierärztebl* 9:901-902.
64. **Regula, G.** (1996): Untersuchungen zur Darstellung und Vermittlung von Wissen aus der Fortpflanzungskunde beim Rind in einem computergestützten Lernprogramm unter besonderer Berücksichtigung der Effektivität und Akzeptanz dieses Lehrmediums bei den Nutzern. Diss. med. vet., Tierklinik für Fortpflanzung, Freie Universität, Berlin.
65. **Rheinberg, F.** (1985): Motivationsanalysen zur Interaktion mit Computern. In: *Lernen im Dialog mit dem Computer*, Mandl H., Fischer, P.M. (Hrsg.):83-105. Urban & Schwarzenberg, München.
66. **Riley, S.M., Miller, C.W., Dobson, H., Binnington, A.G.** (1996): Surgical procedure simulation via three dimensional computer aided reconstruction of dysplastic canine hips. *Vet Comp Orthop Traumatol* 9; 4:152-157.
67. **Robb, R.** (2002): Perspectives on biomedical image visualization and analysis for image-guided diagnosis and therapy. In: *Proceedings of The Virtual Human Body: State of the Art and Visions for Medicine*, University Hospital Hamburg.
68. **Rother, M.** (1998): Repräsentation der Vorlesung "Tiergeburtshilfe" in einer interaktiven Multimedia-Anwendung für die Verwendung im Internet und die modellhafte Untersuchung zur Akzeptanz und Integration solcher Anwendungen in das Studium der Veterinärmedizin. Diss. med. vet., Tierklinik für Fortpflanzung, Freie Universität, Berlin.
69. **Russ, J.** (1994): *The image processing handbook*. CRC Press, Boca Raton, Fl.

-
70. **Sachse, F.B., Werner, C., Müller, M., Meyer-Waarden, K.** (1996): Segmentation and tissue-classification of the Visible Man dataset using the computer tomographic scans and the thin-section photos. In: Proceedings of The Visible Project Conference, Bethesda, MA, (Hrsg.), National Library of Medicine (CD-ROM), Bethesda, MA.
71. **Schaffhauser, Th.** (2000): Echokardiographie in der Kleintiermedizin. Ein multimediales Computer-Lernprogramm. Diss. med. vet., I. Medizinische Tierklinik, Ludwig-Maximilians-Universität, München.
72. **Schebitz, H., Brass, W.** (1999): Operationen an Hund und Katze. Parey, Berlin.
73. **Schiemann, Th., Bomas, M., Tiede, U., Höhne, K.H.** (1992): Interactive 3D-segmentation. In: Visualization in biomedical computing II, Robb, R.A. (Hrsg.), Proc. SPIE 1808:376-383. Chapel Hill, NC.
74. **Schiemann, Th., Tiede, U., Höhne, K.H.** (1997): Segmentation of the Visible Human for high quality volume based visualisation. *Med Imag Analy* 1; 4:263-271.
75. **Schoner, W.** (1999): Zur Lage des Fachbereiches Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen. *Tierärztl Umsch* 54:392-395.
76. **Schubert, R., Pflessner, B., Pommert, A., Priesmeyer, K., Riemer, M., Schiemann, Th., Tiede, U., Steiner, P., Höhne, K.H.** (1999): Interactive volume visualisation using "Intelligent Movies". In: Medicine meets Virtual Reality, Proc. MMVR '99, Health Technology and Informatics 62, Westwood, J. (Hrsg.):321-327. IOS Press, Amsterdam.
77. **Schwab, F.** (1995): Lost in Hyperspace? Wege durch den multimedialen Wildwuchs. *Medienpsychologie* 7; 4:262-285.
78. **Shores, A., Blaiset, M.A., Thomas, M.W., Middleton, D., Gorecki, E.A., Hendel, K.A., Dunstan, R.W.** (1992): Use of three dimensional computed tomography to image an osteolytic paravertebral neoplasm in a dog. *Prog Vet Neurol* 3; 4:131-133.

79. **Short, A.** (1994): Computer-based learning in veterinary education: CLIVE. CTICM Update 5:8.
80. **Spitzer, V., Ackerman, M.J., Scherzinger, A.L., Whitlock, D.** (1996): The Visible Human Male: A technical report. J Am Med Inform Assoc 3; 2:118-130.
81. **Steens, R.** (1999): Untersuchungen zur Entwicklung eines computergestützten Lernprogrammes zum Thema Helminthologie bei Hund und Katze. Diss. med. vet., Institut für Parasitologie und Tierklinik für Fortpflanzung, Freie Universität, Berlin.
82. **Stiller, K.** (2000): Bilder und Texte in multimedialen Lernprogrammen. Eine empirische Studie zum Einfluss von gesprochenen Texten und Navigation über Bilder auf Lernprozess und Lernergebnis. Roderer Verlag, Regensburg.
83. **Stocke, N.** (1999): Entwicklung des multimedialen Lernprogramms "ZytoVet" für die veterinärmedizinische Zytologie bei Hund und Katze. Diss. med. vet., I. Medizinische Tierklinik, Ludwig-Maximilians-Universität, München.
84. **TAappO** (1986): Approbationsordnung für Tierärzte.
85. **TAppO** (1999): Approbationsordnung für Tierärztinnen und Tierärzte.
86. **Tiede, U.** (1999): Realistische 3D-Visualisierung multiattributierter und multiparametrischer Volumendaten. Ph.D. Thesis, Fachbereich Informatik, Universität, Hamburg.
87. **Tiede, U., Höhne, K.H., Bomans, M., Pommert, A., Riemer, M., Wiebecke, G.** (1990): Investigation of medical 3D-rendering algorithms. IEEE Comput Graphics and Appl 10; 2:41-53.
88. **Tiede, U., Schiemann, Th., Höhne, K.H.** (1996): Visualizing the Visible Human. IEEE Comput Graphics and Appl 16; 1:7-9.

89. **Totty, W.G., Vannier, M.W.** (1984): Complex musculoskeletal Anatomy: analysis using three dimensional surface reconstruction. *RADLA* 150; 1:173-7.
90. **Viola, P., Wells, W.M.** (1995): Alignment by Maximization of Mutual Information. In: Proceedings of International Conference on Computer Vision:16-23.
91. **Weidenmann, B.** (1993): Instruktionsmedien. Arbeiten zur Empirischen Pädagogik und Pädagogischen Psychologie. Gelbe Reihe Nr. 27. Universität der Bundeswehr, Institut für Erziehungswissenschaften und Pädagogische Psychologie, Neubiberg.
92. **Weidenmann, B.** (1995): Multikodierung und Multimodalität im Lernprozess. In: Information und Lernen mit Multimedia, L.J., Issing, P., Klimsa (Hrsg.). 65-84. Psychologie Verlags Union, Weinheim.
93. **Witte, K.H.** (1995): Nutzeffekte des Einsatzes und Kosten der Entwicklung von Teachware. Empirische Untersuchung und Übertragung der Ergebnisse auf den praktischen Entwicklungsprozess. Unitext Verlag, Göttingen.
94. **Wood, A.K.W., Sehgal, C.M., Reef, V.B.** (1994): Three-dimensional sonographic imaging of the equine superficial digital flexor tendon. *Am J Vet Res* 55; 11:1505-1508.
95. **Wright, P.** (1993): To jump or not to jump: Strategy selection while reading electronic texts. In: Hypertext - a psychological perspective, McKnight, C.A., Dillon, A., Richardson, J (Hrsg.). 137-152. Ellis Horwood, Chichester.

Danksagung

Mein ausdrücklicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. mult. H.-G. Liebich für sein Vertrauen und sein Engagement bei der Umsetzung des Projekts. Seiner Begeisterung für multimediale Techniken und seinem Weitblick war es zu verdanken, dass dieses Lernprogramm erstellt werden konnte.

Herrn Dr. J. Maierl bin ich zu besonderem Dank verpflichtet für die jederzeit gewährte wissenschaftliche und freundliche Unterstützung bei der vorliegenden Arbeit.

Herrn Dr. P. Böttcher bin ich zu besonderem Dank verpflichtet für geduldige Begleitung bei der technischen Realisierung dieses Lernprogramms.

Meinen Eltern möchte ich besonders für ihre andauernde geistige, moralische wie auch finanzielle Unterstützung danken.

Ein großes „Dankeschön“ geht an alle die mich unterstützt haben.