

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Fakultät für Informatik



Diplomarbeit

Schichtbasierte Illustration von medizinischen Volumendaten

Björn Meyer

Institut für Simulation und Graphik



Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Fakultät für Informatik

Diplomarbeit

Schichtbasierte Illustration von medizinischen Volumendaten

von: BJÖRN MEYER
geb. am: 10. Mai 1978
in: Hannover
Matrikelnummer: 155843

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. BERNHARD PREIM
2. Gutachter: Dr.-Ing. STEFAN SCHLECHTWEG

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. BERNHARD PREIM
Dipl.-Ing. CHRISTIAN TIETJEN

Zeit der Diplomarbeit: 18.03.2005 - 23.09.2005

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Björn Meyer (Matrikel-Nr. 155843), die vorliegende Arbeit allein und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen angefertigt zu haben.

Björn Meyer

Magdeburg, 23.09.2005

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all jenen Menschen – Freunden – bedanken, die mir bei der Erstellung dieser Arbeit geholfen und einen Teil ihrer Energie geschenkt haben. Insbesondere danke ich meinen Eltern, die mich während meiner gesamten Ausbildung unterstützt und mir Rückhalt geboten haben.

Danke.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Überblick und theoretische Einführung	5
2.1	Begriffsklärung	5
2.2	Wahrnehmungspsychologische Grundlagen	7
2.2.1	Präattentive Wahrnehmung	7
2.2.2	Abstandswahrnehmung	9
2.2.3	Klassifizierung von Bildern	10
2.3	Medizinische Visualisierung	11
2.3.1	Handgezeichnete medizinische Illustrationen	12
2.3.2	Tomogramme	17
2.3.3	Computergenerierte Illustrationen	21
2.3.4	Zusammenfassung	23
2.4	2D-Visualisierungstechniken	23
2.4.1	Techniken zur schichtbasierten Oberflächenvisualisierung . .	25
2.4.2	Hervorhebungs- und Abschwächungstechniken	32
2.4.3	Metagrafische Symbole und Hilfsmittel	37
2.4.4	Zusammenfassung	41
2.5	Darstellung von Positions- und Abstandsinformationen	42
2.5.1	Existierende Methoden zur Abstandsdarstellung	42
2.5.2	Lösungen anderer Fachgebiete	44
2.6	Zusammenfassung	47
3	Entwurf	49
3.1	Illustrative Darstellung von Schnittbildern	52
3.1.1	Silhouetten	52
3.1.2	Färbung	55
3.1.3	Texturierung	55
3.1.4	Schattierung	56
3.1.5	Abstraktion	57
3.2	Korrelation von 2D- und 3D-Darstellungen	58

3.3	Visualisierungstechniken zur Lokalisations- und Navigationsunterstützung	60
3.3.1	Visualisierung von Objekten	61
3.3.2	Visualisierung von Markern	66
3.3.3	Erweiterung der Darstellung durch zusätzliche Elemente	67
3.4	Abstandsvisualisierung	77
3.4.1	Abstandslinie	77
3.4.2	Multiplanare Reformation	79
3.4.3	Sicherheitszonen	80
3.4.4	Silhouetten zur Visualisierung von Abständen	81
3.5	Zusammenfassung	82
4	Implementierung	85
4.1	Entwicklungswerkzeuge	85
4.1.1	Open Inventor	85
4.1.2	MeVisLab	86
4.2	MPR und SoView2D	88
4.3	Module für die illustrative Darstellung und Anpassung an die 3D-Visualisierung	89
4.3.1	Silhouettenerzeugung	89
4.3.2	Texturierung	90
4.4	Hilfsmittel für die Abstandswahrnehmung und die Lokalisation	91
4.4.1	Einzeichnen der illustrativen Elemente in die Schnittbildansicht	91
4.4.2	Einbindung in ein Netzwerk	92
4.5	Netzwerke zur Erzeugung illustrativer Schnittbilddarstellungen	92
5	Ergebnisse	95
5.1	Illustrative Schnittbilddarstellung	95
5.2	Korrelative Darstellung in der 2D- und 3D-Ansicht	96
5.3	Lokalisations- und Navigationsunterstützung	97
5.4	Abstandsdarstellung	100
6	Fazit	107
6.1	Zusammenfassung	107
6.2	Ausblick	108
	Literaturverzeichnis	111
	Abbildungsverzeichnis	117
	Tabellenverzeichnis	119
A	Abbildungen	121

Kapitel 1

Einleitung

In vielen Bereichen der Informationsvermittlung werden Illustrationen genutzt um Inhalte und Wissen effizient zu präsentieren. In der Medizin sind illustrative Zeichnungen hauptsächlich aus Lehrbüchern bekannt, welche Aufbau und Funktion des Körpers und seiner Bestandteile erklären wollen. Auch in anderen Anwendungsgebieten werden mit Erfolg Illustrationen eingesetzt, deren zielgerichtete Darstellung Sachverhalte schnellstmöglich erläutert. In der Computergrafik wurden unter dem Namen *Nonphotorealistic Rendering* (NPR) in den letzten Jahren verstärkt Verfahren entwickelt, welche einige dieser illustrativen Techniken in Algorithmen umsetzen.

In der Medizin sind die Magnetresonanztomografie (MRT) sowie die Computertomografie (CT) derzeit die beiden Verfahren der Wahl, wenn hochaufgelöste Bilder zur Untersuchung eines Patienten benötigt werden. Dies ist zum Beispiel für die onkologische Untersuchung oder bei der Planung und intraoperativen Visualisierung von chirurgischen Eingriffen der Fall. Beide Tomografieverfahren erzeugen Volumen- oder Schnittbilddatensätze, die vom Radiologen zur Beurteilung betrachtet werden. Dabei werden die Daten sowohl in 2D- als auch in 3D-Ansichten präsentiert. Während die dreidimensionale Darstellung Vorteile hat, wenn es darum geht einen Überblick über das gesamte Datenvolumen zu bekommen, zeigen die zweidimensionalen Schnittbilder detaillierte Informationen der einzelnen Volumenelemente (*Voxel*). Eine Beurteilung und Diagnose der Daten erfolgt immer unter intensiver Begutachtung der Schnittbilddaten. Obgleich diesen zweidimensionalen Standardansichten eine so große Bedeutung zukommt, wurde deren Darstellung bisher nur durch wenige illustrative Techniken erweitert.

In dieser Arbeit sollen mögliche Einsatzgebiete illustrativer Techniken in den zweidimensionalen Schnittbilddarstellungen medizinischer Volumendaten untersucht werden. Um einen Überblick über Visualisierungstechniken und Standards in der medizinischen Visualisierung zu erhalten, werden handgezeichnete Illustrationen aus Anatomieatlanten näher untersucht. Die erste Zielstellung wird folglich auch die Erzeugung von Illustrationen aus patientenindividuellen Daten sein, welche sich an den Vorbildern aus medizinischen Atlanten orientieren. Solche Visualisierungen

könnten sowohl in der Lehre, als auch in der Patientenaufklärung genutzt werden um spezifische Fälle zu veranschaulichen. Weitere Einsatzmöglichkeiten der Illustrationstechniken sind in der klinischen Anwendung, bei der Planung und Interaktion mit Volumendatensätzen, zu finden. Zum einen sollen korrespondierende Methoden zu Techniken entwickelt werden, welche in der dreidimensionalen Darstellung bereits umgesetzt sind. Dieses ist notwendig, um eine Korrelation zwischen Objekten in beiden Ansichten herzustellen und das Wechseln zwischen den Darstellungsarten zu vereinfachen. Zum anderen und hauptsächlich soll der Umgang mit den Daten in den Schnittbildansichten vereinfacht werden, um eine effizientere Bearbeitung zu ermöglichen. Das heißt, dass der Benutzer bestmöglich bei der Navigation in dem Datensatz unterstützt wird. Es sollen Hilfsmittel entwickelt werden, die den Nachteil der mangelnden Gesamtübersicht über den Datensatz aufheben oder zumindest verringern. Die entscheidenden Informationen für diese Hilfen sind Abstands- und Richtungsinformationen. Fragen wie: „*Wie weit ist der Tumor von Position XY entfernt?*“ oder „*In welche Richtung muss die Schnittebene durch den Datensatz bewegt werden, um zu einer bestimmten Struktur zu gelangen?*“ sollen durch die erweiterten Darstellungen schneller und effizienter beantwortet werden können.

Die Arbeit ist nach dieser Einleitung wie folgt gegliedert:

Kapitel 2 – Hier werden die theoretischen Grundlagen und verwandten Arbeiten für dieses Thema behandelt. Dabei werden zunächst Grundlagen der Wahrnehmungspsychologie besprochen, die für das Verständnis der Wirkungsweise von illustrativen Elementen notwendig sind. Im Folgenden wird ein Überblick über medizinische Visualisierung und zweidimensionale Illustrationstechniken gegeben. Insbesondere wird dann noch auf Möglichkeiten eingegangen, Abstände zu visualisieren.

Kapitel 3 – Dieses Kapitel diskutiert die verschiedenen illustrativen Techniken für den Einsatz in den unterschiedlichen Bereichen. Zunächst werden Methoden entwickelt um Illustrationen zu erzeugen, die denen in medizinischen Schnittbildatlanten ähneln. Dem folgt ein Abschnitt über die Anpassung der Schnittbilddarstellungen an die dreidimensionale Visualisierung der Volumendaten. Abschließend werden die Lokalisation und Abstandsdarstellung behandelt, welche die Navigation in den Daten erleichtern sollen.

Kapitel 4 – Das Implementierungskapitel beschreibt die verwendete Entwicklungsumgebung MEVISLAB und deren Besonderheiten. Die konkrete Umsetzung der entwickelten Methoden wird hier näher erläutert.

Kapitel 5 – In diesem Kapitel erfolgt die Präsentation der Resultate anhand verschiedener Beispiele.

Kapitel 6 – Abschließend werden hier noch einmal Zielstellung und Ergebnisse der Arbeit verglichen. Ein Ausblick über mögliche Weiterentwicklungen soll denkbare und sinnvolle Ziele für die zukünftige Arbeit in diesem Bereich aufzeigen.

Kapitel 6

Fazit

Dieses abschließende Kapitel soll einen Überblick über die erzielten Ergebnisse liefern. Im zweiten Teil sollen einige, an diese Ergebnisse anknüpfende Entwicklungsmöglichkeiten aufgeführt werden.

6.1 Zusammenfassung

In dieser Diplomarbeit wurde der Einsatz von illustrativen Visualisierungstechniken für die Schnittbildvisualisierung von medizinischen Volumendaten untersucht. Die Möglichkeiten des Einsatzes reichen von der Erstellung von Illustrationen für Lehre und Patientenaufklärung über die korrelierende Darstellung von Objekten in der 2D- und 3D-Ansicht bis zur intraoperativen Visualisierung.

Bei der Untersuchung von medizinischen Handzeichnungen und Illustrationen im Allgemeinen wurden zunächst charakteristische Techniken für die Darstellung medizinischer Daten und die Hervorhebung von Objekten in Visualisierungen ermittelt. Dieser Fundus an Darstellungsmöglichkeiten wurde dann genutzt, um die verschiedenen Zielstellung zu lösen und die vorhandene Schnittbilddarstellung, unter dem Kriterium eine effektivere Visualisierung zu erstellen, zu erweitern.

Anhand der Nachahmung einer handgezeichneten Illustration des Halses wurde gezeigt, welches Potential die Erstellung dieser Art von Illustrationen aus patientenindividuellen Daten bietet. Das Vorhandensein segmentierter Datensätze vorausgesetzt, ist die Möglichkeit gegeben, ansprechende Illustrationen interaktiv zu erzeugen und zu verändern. Dieser Aspekt eröffnet neue Wege für die Anwendung in der Lehre und Patienteninformation.

Die Adaptierung von illustrativen Renderingmethoden der 3D-Darstellung in der Schnittbildvisualisierung ermöglicht dem Betrachter eine einfache Verknüpfung der beiden Darstellungsarten. Die gleichzeitige Arbeit mit 2D- und 3D-Ansichten kann durch den Einsatz der entwickelten Techniken sehr verbessert werden.

Durch die Entwicklung verschiedener Darstellungsmöglichkeiten zur Unterstützung der Lokalisation von Objekten konnte der Nachteil der 2D-Darstellung gegenüber der 3D-Ansicht, welche eine bessere Übersicht über die Objekte bietet, behoben werden. Der Überblick über die räumliche Verteilung von Objekten in dem Volumendatensatz wird zum einen durch die positionsabhängige Darstellung der Objekte und zum anderen durch das Balkenübersichtsdiagramm gegeben. Das Diagramm erleichtert die Navigation in dem Datensatz und steigert so die Effizienz bei der Arbeit. Fragestellungen der Art, wie sie in der Einleitung aufgeführt wurden, lassen sich mit Hilfe der entwickelten Techniken schnell und einfach beantworten.

Speziell für die intraoperative Visualisierung wurden Methoden und Hilfsmittel entwickelt, die eine gezieltere und geplantere Navigation des Operationswerkzeugs bei einem Eingriff ermöglichen. Die Erweiterung der herkömmlichen Fadenkreuzdarstellung erlaubt die gleichzeitige Hervorhebung von mehreren Zielen und die Integration ihrer Lagebeziehung in die Visualisierung. Das Einzeichnen oder Anzeigen der Distanz zwischen dem Instrument und einer ausgewählten Risikostruktur ermöglicht dem Operateur einen möglichst gefahrfreien Weg bei dem Eingriff zu wählen. Hierbei werden die Vorteile der Schnittbilddarstellung mit der räumlichen Abstandsmessung verbunden. Auch nicht sichtbare Strukturen werden in die Visualisierung einbezogen, während die Verdeckungsproblematik der 3D-Darstellung umgangen wird.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Erweiterung der Schnittbilddarstellungen um illustrative Elemente ein großes Potential bietet, welches bisher kaum genutzt wurde. Die angestrebten Ziele konnten erreicht werden. Es wurden verschiedene Wege aufgezeigt, um Illustrationstechniken bei der zweidimensionalen Darstellung der Volumendaten zu nutzen und damit die Effektivität der Visualisierung für ganz unterschiedliche Anwendungsgebiete zu erhöhen oder erst zu ermöglichen. Die entwickelten Techniken sollen daher auch als Grundstein für die weitere Entwicklung in dieser Richtung angesehen werden.

6.2 Ausblick

Damit eine zielgerichtete Weiterentwicklung der verschiedenen Visualisierungsmethoden ermöglicht wird, ist zunächst eine Evaluierung der Ergebnisse sinnvoll. Die Lösungen für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche müssen typischen Benutzern präsentiert und von diesen bewertet werden, um die Art der Visualisierung entsprechend der jeweiligen Präferenzen anzupassen.

Bezüglich der entworfenen Hilfsmittel birgt besonders das Balkenübersichtsdiagramm Ressourcen für die Weiterentwicklung. Die Integration des Diagramms in das Navigationskonzept des Anzeigemoduls würde das Ziel dieser Visualisierung

konsequent weiterführen. Die aktuelle Schnittebene könnte durch Verschieben der Schnittebenenrepräsentation innerhalb des Diagramms verändert werden. Ebenso könnte die Auswahl eines Objekts in dem Balkenübersichtsdiagramm die Schnittebene an eine entsprechende Position im Datensatz verschieben. Neben der Steuerung der Schnittebene über das Diagramm ist auch eine Auswahl und entsprechende Hervorhebung von Objekten hierüber denkbar. Beim Klicken auf einen Balken wird die Visualisierung des zugehörigen Objekts angepasst und dieses durch entsprechende Techniken hervorgehoben. Eine ähnliche Verbindung ist auch zwischen der 2D- und 3D-Ansicht denkbar. Die Veränderung einer Objektvisualisierung in der einen Ansicht sollte die Veränderung der Darstellungsweise in der anderen Ansicht bedingen.

Um diese Verknüpfungen zu realisieren, wäre die Nutzung einer zentralen Datenbank von Vorteil, welche alle Objekte und ihre Darstellungsparameter beinhaltet. Durch eine solche Datenbank könnte die Redundanz beim Aufbau komplexer Netzwerke vermieden werden, die momentan durch die vielen gleichartigen Module erzeugt wird. Ebenso könnte hierdurch ein eleganterer und effizienterer Weg zur Verteilung der Zustandsinformationen¹ der *SoView2D*-Umgebung an die einzelnen Komponenten gefunden werden, als es durch die vielen Feldverbindungen zur Zeit stattfindet. Diese Vermeidung der Redundanz wäre ein wichtiger Schritt bei der notwendigen Optimierung der Geschwindigkeit von aufwendigen Netzen. Das *ObjMgr*-Konzept von *MEVISLAB* stellt eine solche Datenbank und Informationsverwaltung zur Verfügung. Eine Einbindung der verschiedenen Module in dieses Konzept würde folglich die angestrebten Änderungen umsetzen.

Mit der Einbindung der gefundenen Lösungen in den am Institut für Simulation und Grafik der Universität Magdeburg entwickelten *ENTSurgeyPlanner* für die Planung von Hals-Nasen-Ohren-Operationen (vgl. KRÜGER et al. [2005]) wird diese Anpassung stattfinden. Eine Nutzung und Weiterentwicklung der Lösungen im Rahmen dieses Projekts ist geplant.

Die für die Darstellung von außerhalb der aktuellen Schnittebene liegenden Objekten wichtige Bestimmung einer charakteristischen Silhouette wurde in dieser Arbeit nur kurz diskutiert. Es wurden mögliche Varianten genannt, welche für diesen Zweck genutzt werden können. Eine weitere Untersuchung dieses Parameters ist jedoch sinnvoll, um eine möglichst effektive Darstellung zu generieren, die bei dem interaktiven Umgang mit den Daten eine schnelle und eindeutige Objektbestimmung ermöglicht.

¹Dies sind zum Beispiel die Definition der aktuellen Schnittebene, die Ausdehnung des Datensatzes oder Transformationsinformationen vom Voxel- in das Weltkoordinatensystem.

Als weitere Forschungsarbeit bietet sich auch an, die entwickelten Techniken auf ihre Eignung zur Darstellung von dynamischen Daten zu untersuchen. Während die hier präsentierten Lösungen zur Visualisierung von Positionen im Raum genutzt werden, ist es denkbar, diese auch zur Visualisierung von Daten zu anderen Zeitpunkten anzuwenden. Ein Beispiel wäre das Einzeichnen einer zusätzlichen Objektsilhouette um die Form des Objekts zu einem anderen Zeitpunkt anzuzeigen. Die Anpassung der verschiedenen Parameter wie Farbe und Linienstil würde dann nicht zur Abbildung des räumlichen Abstands und der Richtung genutzt sondern zur Darstellung der zeitlichen Veränderung. Die Frequenz der gepunkteten oder gestrichelten Linien würde beispielsweise den zeitlichen Abstand zwischen der aktuellen Ansicht und dem dargestellten Objekt abbilden, während die Wahl von Punkten oder Strichen davon abhängt, ob sich das Objekt vor oder nach dem aktuellen Zeitpunkt befindet.

Die weiterführenden Ideen zeigen, dass Bedarf für die entwickelten Visualisierungsmethoden und Prinzipien besteht. Die bisher wenig optimierte Schnittbilddarstellung kann durch die erzielten Ergebnisse in vielfältiger Weise erweitert und verbessert werden.

Literaturverzeichnis

- [Ali et al. 2005] ALI, Kamran ; HARTMANN, Knut ; STROTHOTTE, Thomas: Label Layout for Interactive 3D Illustrations. In: *Journal of the WSCG* 13 (2005), Nr. 1, S. 1–8. – (13th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision WSCG'2005)
- [Baudisch und Rosenholtz 2003] BAUDISCH, Patrick ; ROSENHOLTZ, Ruth: Halo: a Technique for Visualizing Off-Screen Locations. In: *CHI '03: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. Fort Lauderdale, FL, USA : ACM Press, 2003. – ISBN 1–58113–630–7, S. 481–488
- [Baumgart 1972] BAUMGART, Bruce G.: Winged edge polyhedron representation / Stanford University, Stanford, CA, USA. 1972. – Forschungsbericht
- [Bertolini et al. 1995] BERTOLINI, Rolf ; LEUTERT, Gerald ; WENDLER, Dietmar ; ROTHER, Paul ; BERTOLINI, Rolf (Hrsg.): *Systematische Anatomie des Menschen*. 5. Berlin; Wiesbaden : Ullstein Mosby, 1995
- [Borgefors 1983] BORGEFORS, Gunilla: Chamfering: A Fast Method for Obtaining Approximations of the Euclidean Distance in N Dimensions. In: *Proc. 3rd Scand. Conf. on Image Analysis (SCIA3)*. Copenhagen, Denmark, 1983, S. 250–255
- [BrainLAB-AG 2002] BRAINLAB-AG. *IMRS/IMRT Brochure*. 2002
- [Brillux-GmbH 2005] BRILLUX-GMBH. *Farbimpulse - Glossar*. September 2005
- [Catmull 1974] CATMULL, Edwin E.: *A Subdivision Algorithm for Computer Display of Curved Surfaces.*, Dept. of CS, U. of Utah, Diss., Dezember 1974
- [Chen et al. 2001] CHEN, Min (Hrsg.) ; KAUFMAN, Arie E. (Hrsg.) ; YAGEL, Roni (Hrsg.): *Volume Graphics*. Secaucus, NJ, USA : New York : Springer-Verlag, Inc., 2001. – ISBN 1852331925
- [Deussen et al. 2000] DEUSSEN, Oliver ; HILLER, Stefan ; OVERVELD, Cornelius ; STROTHOTTE, Thomas: Floating Points: A Method for Computing Stipple Drawings. In: *Computer Graphics Forum* 19 (2000), Nr. 3, S. 40–51

- [Diepstraten et al. 2003] DIEPSTRATEN, Joachim ; WEISKOPF, Daniel ; ERTL, Thomas: Interactive Cutaway Illustrations. In: *Proceedings of EUROGRAPHICS '03*, 2003, S. 523–532
- [Dörge 2002] DÖRGE, Christina: *Techniken zur interaktiven Hervorhebung von Objekten in medizinischen 3d-Visualisierungen*. Germany, University of Bremen, Diplomarbeit, August 2002
- [Foley et al. 1995] FOLEY, James D. ; DAM, Andries van ; FEINER, Steven K. ; HUGHES, John F.: *Computer Graphics : principles and practice*. 2. ed. in C, repr. with corr., 14. printing. Boston; San Francisco : Addison-Wesley, 1995. – ISBN 0–201–84840–6
- [Galanski und Prokop 1998] GALANSKI, Michael ; PROKOP, Mathias: *Ganzkörper-Computertomographie*. 1. Stuttgart ; New York : Georg Thieme Verlag, 1998
- [Guski 1996] GUSKI, Rainer: *Wahrnehmen - ein Lehrbuch*. Stuttgart; Berlin; Köln : W. Kohlhammer, 1996
- [Haeberli 1990] HAEBERLI, Paul: Paint By Numbers: Abstract Image Representations. In: *SIGGRAPH '90: Proceedings of the 17th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM Press, 1990. – ISBN 0–201–50933–4, S. 207–214
- [Healey 2005] HEALEY, Christopher G.: *Perception in Visualization*. Webpage. Mai 2005. – Department of Computer Science, North Carolina State University
- [Heckbert 1986] HECKBERT, Paul S.: Survey of Texture Mapping. In: *IEEE Computer Graphics and Applications* 6 (1986), November, S. 56–67
- [Hiller et al. 2003] HILLER, Stefan ; HELLWIG, Heino ; DEUSSEN, Oliver: Beyond Stippling - Methods for Distributing Objects on the Plane. In: *Computer Graphics Forum* 22 (2003), Nr. 3, S. 515–522
- [Hodges 1989] HODGES, Elaine R. S. (Hrsg.): *The Guild Handbook of Scientific Illustration*. New York : Van Nostrand Reinhold, 1989
- [Julész 1981] JULÉSZ, Bela: Textons, the elements of texture perception, and their interactions. In: *Nature* 290 (1981), März, S. 91–97
- [Kanitsar et al. 2002] KANITSAR, Armin ; FLEISCHMANN, Dominik ; WEGENKITTL, Rainer ; FELKEL, Petr ; GRÖLLER, Meister E.: CPR - Curved Planar Reformation. In: *IEEE Visualization 2002*, 2002. – human contact: kanitsar@cg.tuwien.ac.at, S. 37–44

- [Kanitsar et al. 2003] KANITSAR, Armin ; WEGENKITTL, Rainer ; FLEISCHMANN, Dominik ; GRÖLLER, Meister E.: Advanced Curved Planar Reformation: Flattening of Vascular Structures. In: *IEEE Visualization 2003*, 2003. – human contact: technical-report@cg.tuwien.ac.at, S. 43–50
- [Knowlton 1966] KNOWLTON, James Q.: On the Definition of "Picture". In: *AV Communication Review* 14 (1966), Nr. 2, S. 157–183
- [Krüger et al. 2005] KRÜGER, Arno ; TIETJEN, Christian ; HINTZE, Jana ; PREIM, Bernhard ; HERTEL, Ilka ; STRAUSS, Gero: Interactive Visualization for Neck Dissection Planning. In: *IEEE/Eurographics Symposium on Visualization (EuroVis)*, 2005, S. 295–302
- [Lake et al. 2000] LAKE, Adam ; MARSHALL, Carl ; HARRIS, Mark ; BLACKSTEIN, Marc: Stylized Rendering Techniques For Scalable Real-Time 3D Animation. In: *NPAR '00: Proceedings of the 1st international symposium on Non-photorealistic animation and rendering*. New York, NY, USA : ACM Press, 2000. – ISBN 1–58113–277–8, S. 13–20
- [Lippert 2000] LIPPERT, Herbert: *Lehrbuch Anatomie*. 5., überarbeitete Auflage. München; Jena : Urban & Fischer, 2000. – ISBN 3437423606
- [MeVis-GmbH 2005] MEVIS-GMBH. *MeVisLab*. September 2005
- [Mühler 2005] MÜHLER, Konrad: *Skriptbasierte Generierung von Animationen für die medizinische Aus- und Weiterbildung*, OvG-University Magdeburg, Diplomarbeit, April 2005
- [Möller und Reif 1993] MÖLLER, Torsten B. ; REIF, Emil: *Taschenatlas der Schnittbildanatomie: Computertomographie und Kernspintomographie Band I - Kopf, Hals, Wirbelsäule, Gelenke*. 1. Stuttgart; New York : Georg Thieme Verlag, 1993
- [Moll und Moll 2000] MOLL, Karl-Josef ; MOLL, Michaela: *Kurlehrbuch Anatomie*. 16. München; Jena : Urban & Fischer, September 2000
- [Netter 2003] NETTER, Frank H.: *Atlas der Anatomie des Menschen*. 3., erw. Ausg. Stuttgart : Thieme, 2003. – ISBN 3131090235
- [Ostromoukhov 1999] OSTROMOUKHOV, Victor: Digital Facial Engraving. In: *SIGGRAPH '99: Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1999. – ISBN 0–201–48560–5, S. 417–424

- [Plaisant et al. 1996] PLAISANT, Catherine ; MILASH, Brett ; ROSE, Anne ; WIDOFF, Seth ; SHNEIDERMAN, Ben: LifeLines: Visualizing Personal Histories. In: *CHI '96: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM Press, April 1996. – ISBN 0-89791-777-4, S. 221-227
- [Plaisant et al. 1998] PLAISANT, Catherine ; MUSHLIN, Richard ; SNYDER, Aaron ; LI, Jia ; HELLER, Dan ; SHNEIDERMAN, Ben: LifeLines: Using Visualization to Enhance Navigation and Analysis of Patient Records / HCI Laboratory, University of Maryland. 1998 (CS-TR-3943). – Forschungsbericht
- [Pnueli und Bruckstein 1994] PNUELI, Yachin ; BRUCKSTEIN, Alfred M.: DigiDürer - a digital engraving system. In: *The Visual Computer* 10 (1994), Nr. 5, S. 277-292. – ISSN 0178-2789
- [Pohle 2004] POHLE, Regina: *Computerunterstützte Bildanalyse zur Auswertung medizinischer Bilddaten*, OvG-University Magdeburg, Diss., März 2004
- [Praun et al. 2001] PRAUN, Emil ; HOPPE, Hugues ; WEBB, Matthew ; FINKELSTEIN, Adam: Real-Time Hatching. In: *SIGGRAPH '01: Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., August 2001, S. 579-584
- [Preim und Ritter 2002] PREIM, Bernhard ; RITTER, Felix: Techniken zur interaktiven Hervorhebung von Objekten in medizinischen 3D-Visualisierungen. In: SCHULZE, Thomas (Hrsg.) ; SCHLECHTWEG, Stefan (Hrsg.) ; HINZ, Volkmar (Hrsg.): *Simulation und Visualisierung 2002* Otto-von-Guericke Universität, SCS European Publishing House, März 2002, S. 187-200
- [Quinlan und Humphreys 1987] QUINLAN, Philip T. ; HUMPHREYS, Glyn W.: Visual search for targets defined by combinations of color, shape, and size: An examination of task constraints on feature and conjunction searches. In: *Perception & Psychophysics* 41 (1987), Nr. 5, S. 455-472
- [Rogers 1992] ROGERS, Andrew W.: *Textbook Of Anatomy*. 1. Edinburgh; London; Madrid; Melbourne; New York; Tokyo : Churchill Livingstone, 1992
- [Saito und Takahashi 1990] SAITO, Takafumi ; TAKAHASHI, Tokiichiro: Comprehensive Rendering of 3-D Shapes. In: *SIGGRAPH '90: Proceedings of the 17th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM Press, 1990. – ISBN 0-201-50933-4, S. 197-206
- [Salisbury et al. 1994] SALISBURY, Michael P. ; ANDERSON, Sean E. ; BARZEL, Ronen ; SALESIN, David H.: Interactive Pen-and-Ink Illustration. In: *SIGGRAPH '94: Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics*

- and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM Press, 1994. – ISBN 0–89791–667–0, S. 101–108
- [Salisbury et al. 1997] SALISBURY, Michael P. ; WONG, Michael T. ; HUGHES, John F. ; SALESIN, David H.: Orientable Textures for Image-Based Pen-and-Ink Illustration. In: *SIGGRAPH '97: Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1997. – ISBN 0–89791–896–7, S. 401–406
- [Schulz 2005] SCHULZ, Christian: *Approximation von Krümmungsinformation zur Umsetzung von Techniken zur illustrativen medizinischen Visualisierung*, OvG-University Magdeburg, Diplomarbeit, Oktober 2005
- [Schumann und Müller 2000] SCHUMANN, Heidrun (Hrsg.) ; MÜLLER, Wolfgang (Hrsg.): *Visualisierung - Grundlagen und allgemeine Methoden*. Berlin; Heidelberg; New York : Springer, 2000. – ISBN 3540649441
- [Schumpelick et al. 2003] SCHUMPELICK, Volker ; BLEESE, Niels ; MOMMSEN, Ulrich: *Kurzlehrbuch Chirurgie*. 6. Stuttgart : Georg Thieme Verlag, September 2003
- [Secord 2002] SECORD, Adrian: Weighted Voronoi Stippling. In: *NPAC '02: Proceedings of the 2nd international symposium on Non-photorealistic animation and rendering*. New York, NY, USA : ACM Press, 2002. – ISBN 1–58113–494–0, S. 37–43
- [Seligmann 1993] SELIGMANN, Dorée D.: *Interactive Intent-Based Illustration: A Visual Language for 3D Worlds*, School of Arts and Sciences, Columbia University, Diss., 1993
- [Siemens-AG 2005] SIEMENS-AG. *syngo-Overview*. 2005
- [Sobotta 2004] SOBOTTA, Johannes ; PUTZ, Reinhard (Hrsg.) ; PABST, Reinhard (Hrsg.): *Atlas der Anatomie des Menschen*. 21. München : Urban & Fischer bei Elsevier, September 2004. – ISBN 3437435906
- [Tappenbeck 2004] TAPPENBECK, Andreas: *Entwurf distanzabhängiger 2D-Transferfunktionen für die medizinische Volumenvisualisierung*, OvG-University Magdeburg, Diplomarbeit, September 2004
- [Tappenbeck et al. 2005] TAPPENBECK, Andreas ; PREIM, Bernhard ; DICKEN, Volker: Distanzabhängige Transferfunktionen für die medizinische Volumenvisualisierung. In: *Bildverarbeitung für die Medizin*, Springer, 2005 (Informatik aktuell), S. 307–311

- [Tietjen 2004] TIETJEN, Christian: *Evaluierung und Modifikation von Methoden zur Generierung von Liniengrafiken in der medizinischen Visualisierung*, OvG-University Magdeburg, Diplomarbeit, Mai 2004
- [Tietjen et al. 2005] TIETJEN, Christian ; ISENBERG, Tobias ; PREIM, Bernhard: Combining Silhouettes, Surface, and Volume Rendering for Surgery Education and Planning. In: *IEEE/Eurographics Symposium on Visualization (EuroVis)*, 2005, S. 303–310
- [Tortora 1997] TORTORA, Gerard J.: *Introduction to the Human Body: The Essentials of Anatomy and Physiology*. 4. Benjamin Cummings, 1997. – ISBN 067398222X
- [Treisman und Gelade 1980] TREISMAN, Anne ; GELADE, Garry: A feature-integration theory of attention. In: *Cognitive Psychology* 12 (1980), Januar, Nr. 1, S. 97–136
- [Treisman und Gormican 1988] TREISMAN, Anne ; GORMICAN, Stephen: Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. In: *Psychological Review* 95 (1988), Januar, Nr. 1, S. 15–48
- [Vesalius 1543] VESALIUS, Andreas: *De Humani Corporis Fabrica Libri Septem*. Basel, 1543
- [Vesalius 1543] VESALIUS, Andreas: *De Humani Corporis Fabrica Librorum Epitome*. Basel, 1543
- [Viola et al. 2004] VIOLA, Ivan ; KANITSAR, Armin ; GRÖLLER, Meister E.: Importance-Driven Volume Rendering. In: *Proceedings of IEEE Visualization 2004*, H. Rushmeier, G. Turk, J. van Wijk, oct 2004. – ISBN 0780387880, S. 139–145
- [Ware 2000] WARE, Colin: *Information Visualization: Perception for Design*. 1. San Francisco, CA, USA : San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2000. – ISBN 1-55860-511-8
- [Weidenmann 1994] WEIDENMANN, Bernd (Hrsg.): *Wissenserwerb mit Bildern*. 1. Bern; Göttingen; Toronto; Seattle : Huber, 1994
- [Wernecke 1994] WERNECKE, Josie: *The Inventor Mentor: Programming Object-Oriented 3d Graphics with Open Inventor, Release 2*. 1. Boston, MA, USA : Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., März 1994. – ISBN 0201624958
- [Wolfe 1994] WOLFE, Jeremy M.: Guided Search 2.0: A revised model of visual search. In: *Psychonomic Bulletin & Review* 1 (1994), Juni, Nr. 2, S. 202–238

-
- [Wolfe und Cave 1990] WOLFE, Jeremy M. ; CAVE, Kyle R.: Deploying visual attention: The Guided Search model. In: BLAKE, Andrew (Hrsg.) ; TROSCIANKO, Tom (Hrsg.): *Ai and the Eye*. Chichester : John Wiley & Sons, 1990, Kapitel 4, S. 79–103
- [Wolfe et al. 1989] WOLFE, Jeremy M. ; CAVE, Kyle R. ; FRANZEL, Susan L.: Guided Search: An alternative to the feature integration model for visual search. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance* 15 (1989), August, Nr. 3, S. 419–433

Abbildungsverzeichnis

2.1	Beispiele für Abbilder und logische Bilder	11
2.2	Bestrahlungsplanung von BRAINLAB	12
2.3	Holzschnitt und Pen-and-Ink Zeichnung	13
2.4	Realistische und abstrakte medizinische Illustration	14
2.5	Charakteristische Knochen- und Muskeltexturen	15
2.6	Abstrakte Illustration des Halses	16
2.7	Metagrafische Symbole und schematische 3D-Übersicht	17
2.8	Gegenüberstellung eines MRT- und eines CT-Schnittbildes	19
2.9	Illustrative Darstellungsmethoden medizinischer Volumendatensätze	22
2.10	Schattierung in Schnittbildillustrationen	26
2.11	Stipplingzeichnungen: Delphin und Steinfigur	27
2.12	Stippling- und Hatchingzeichnungen	28
2.13	Schraffurzeichnung und verschiedene Schraffurtypen	30
2.14	Prachtkäfer <i>Thrincopyge alacris</i>	31
2.15	Texture Mapping	32
2.16	Überblick der verschiedenen Hervorhebungstechniken	34
2.17	Instrumente in einer Illustration und Konturlinien zur Darstellung von Bewegung	41
2.18	Farbe zur Abbildung von Abstand	44
2.19	Abbildung von Ereignissen auf einem Zahlenstrahl	45
2.20	Lokalisation von Off-Screen-Locations	46
3.1	Illustrative Darstellung des Halses	50
3.2	Korrelierende 2D- und 3D-Ansicht des Abdominalraums	50
3.3	Unterstützung von Lokalisation und Abstandswahrnehmung	51
3.4	<i>Winged-Edge</i> -Struktur	54
3.5	Silhouettenerzeugung durch Schnittpunktberechnung	55
3.6	Texturierung von Objekten	57
3.7	Gegenüberstellung von 3D- und 2D-Darstellung eines Leber-CT	59
3.8	Linienstil zur Positionsvisualisierung	64
3.9	<i>Cutaway</i> -Darstellung des Abdomens	66
3.10	Visualisierung eines Markers	67

3.11	Pfeile zur Richtungsdarstellung	68
3.12	Plus und Minus zur Richtungsdarstellung	69
3.13	Fadenkreuz für einen Zielpunkt	70
3.14	Fadenkreuz für zwei Zielpunkte	70
3.15	Skizzen der Fadenkreuzdarstellungen	71
3.16	Halos zur Darstellung von Abstand	72
3.17	Halo in einem NNH-Datensatz	72
3.18	Skizze des Balkenübersichtsdiagramms und Berechnung der Balken- positionen	75
3.19	Probleme der <i>Bounding Box</i>	75
3.20	<i>Sweep</i> -Algorithmus zur Sortierung der Objekte	77
3.21	Visualisierung der Abstandslinie	78
3.22	Multiplanare Reformation zur Abstandsdarstellung	80
3.23	Sicherheitszonen zur Abstandsdarstellung	81
3.24	Silhouetten zur Abstandsdarstellung	82
4.1	Modultypen und Verbindungen in MEVISLAB	87
4.2	MEVISLAB-Netzwerk der entwickelten Module	93
5.1	Vorbild und Nachbildung einer Halsillustration	96
5.2	Korrelierende 2D- und 3D-Ansicht des Abdominalraums	97
5.3	Markerdarstellung in einem Halsdatensatz	98
5.4	Fadenkreuze zur Hervorhebung von Instrument und Zielobjekt	100
5.5	Balkenübersichtsdiagramm eines Hals-CT	101
5.6	Veränderung des Balkenübersichtsdiagramms bei Änderung der Schnit- tebene	102
5.7	Abstandslinie zur Vermessung eines Lebertumors in der MPR	103
5.8	Abstandslinie zur Vermessung eines Lebertumors in axialer Sicht . . .	103
5.9	Sicherheitszonen und Silhouetten zur Abstandsvisualisierung	105
A.1	Screenshot eines komplexen MEVISLAB-Netzwerks	125

Tabellenverzeichnis

2.1	Zuordnung von Farben zu Gewebearten in medizinischen Illustrationen	16
2.2	Übersicht über Illustrationstechniken in Schnittbildillustrationen . .	18
2.3	Übersicht über verschiedene 2D-Hervorhebungstechniken	38
2.4	Übersicht über verschiedene Methoden zur Unterstützung der Ab- standswahrnehmung	43

Anhang A

Abbildungen

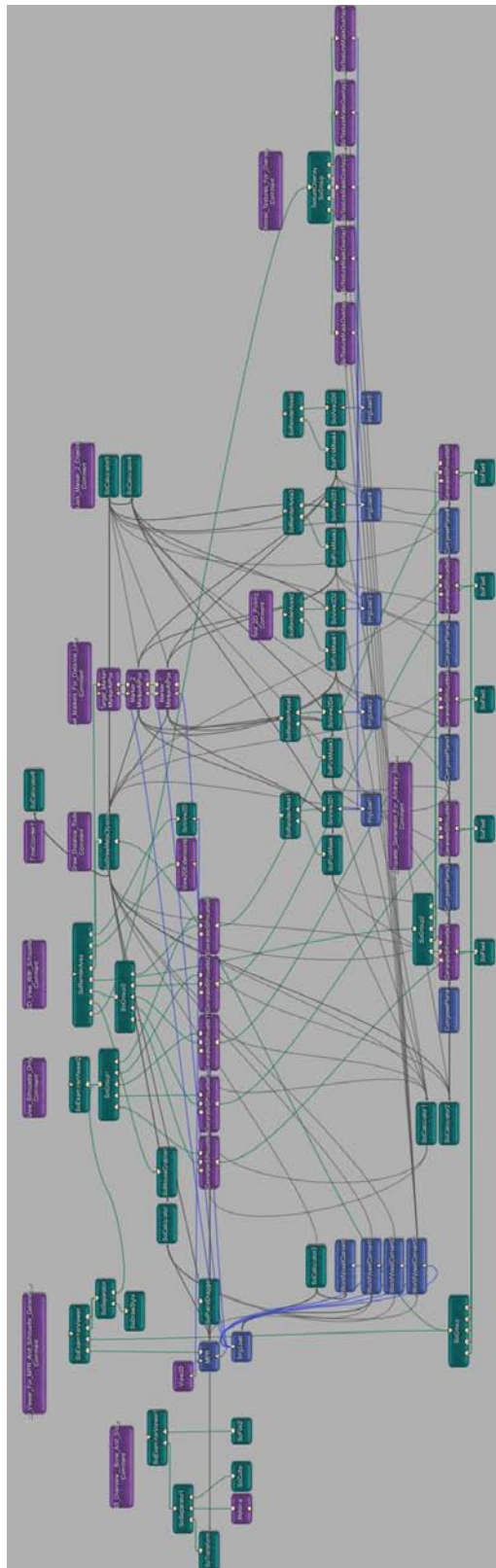


Abbildung A.1: Screenshot eines komplexen MEVISLAB-Netzwerks. Es werden die im Rahmen der Arbeit entwickelten Module genutzt um einen Schnittbilddatensatz um illustrative Darstellungselemente zu erweitern.