

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg



Fakultät für Informatik  
Institut für Simulation und Graphik

**Illustrative Visualisierungstechniken zur  
Unterstützung der präoperativen Planung von  
chirurgischen Eingriffen**

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

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

von: Dipl.-Ing. Christian Tietjen  
geb. am 22. März 1976 in Bremen

Gutachter: Prof. Dr. Bernhard Preim  
Prof. Dr. Dirk Bartz  
Prof. Dr. Eduard Gröller

Magdeburg, den 11.08.2009



**Tietjen, Christian (Dipl.-Ing.):**

*Illustrative Visualisierungstechniken zur Unterstützung der präoperativen Planung von chirurgischen Eingriffen*

Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg, 11.08.2009.



# **Magdeburger Schriften zur Visualisierung**

herausgegeben von  
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Preim  
Institut für Simulation und Graphik,  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Band 3

**Christian Tietjen**

## **Illustrative Visualisierungstechniken zur Unterstützung der präoperativen Planung von chirurgischen Eingriffen**

Shaker Verlag  
Aachen 2009

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Magdeburg, Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2009

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8812-9

ISSN 1865-7397

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Anwendung illustrativer Visualisierungstechniken zur Unterstützung der präoperativen Planung von chirurgischen Eingriffen. Hierzu werden relevante Arbeiten aus den Gebieten des Non-Photorealistic Rendering (NPR), der Informationsvisualisierung und der illustrativen Visualisierung untersucht und die vorgestellten Ansätze auf ihre Vor- und Nachteile hin untersucht.

Im Einzelnen werden hierzu Verfahren zur Darstellung mittels Silhouetten, Punktier-technik (Stippling) und Schraffurtechnik (Hatching) vorgestellt. Des Weiteren wird ein echtzeitfähiges Verfahren zur illustrativen Schattierung ganzer Szenen entwickelt. Um die chirurgischen Fragestellungen zu unterstützen und die generellen Nachteile von 3D- und schichtbasierten Visualisierungen auszubessern, wurden ebenfalls verschiedene Techniken entwickelt. Um der mangelnden Übersicht in Schichtdaten entgegenzuwirken, wird als Übersichtsdarstellung über alle Schichten der so genannte LIFTCHART vorgestellt. Des Weiteren werden verschiedene Techniken zur Lokalisierung von Zielstrukturen und zur Darstellung von Sicherheitsabständen um Strukturen entwickelt. Zur Sicherstellung der Sichtbarkeit einzelner Strukturen werden der Cut Away und der Section View verwendet.

Die in dieser Arbeit entwickelten Verfahren werden so konzipiert, dass sie zur Interventionsplanung im klinischen Alltag verwendet werden können. Hierbei wurde mit der HNO-Chirurgie des Universitätsklinikums Leipzig kooperiert. Es wurde eine Anwendung entwickelt, die direkt von HNO-Chirurgen zur präoperativen Planung genutzt werden kann. Diese Anwendung – der NECKSURGERYPLANNER (NSP) – wurde den HNO-Chirurgen zur Verfügung gestellt. Die Erfahrungen, die die Chirurgen beim täglichen Umgang mit den Visualisierungstechniken sammeln, können so genutzt werden, um die Techniken noch weiter zu verfeinern.



# Danksagung

Zunächst möchte ich Prof. Bernhard Preim danken, der mir die Gelegenheit gab, bei ihm unter hervorragenden Bedingungen promovieren zu können. Des Weiteren bin ich einer erstaunlich großen Anzahl von Personen und Institutionen zu Dank verbunden.

Ich danke meinen Kollegen der Arbeitsgruppe Visualisierung, die alle zu dieser Arbeit beigetragen haben. Insbesondere möchte ich hier Konrad Mühler danken, der mit mir des METK aus der Wiege gehoben hat. Ich danke den Leuten von MeVis\* für die vielen hilfreichen Beiträge in ihrem Forum und die Bereitstellung von MEVISLAB. Ich danke dem ICCAS und den klinischen Partnern am Universitätsklinikum Leipzig, allen voran Gero Strauß und Ilka Richter für ihre wertvollen Vorschläge. Ich danke der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die diese Arbeit im Schwerpunktprogramm 1124 „Medizinische Navigation und Robotik“ finanziert hat. Ich danke meinen ehemaligen Diplomanden, die alle wesentlich zu dieser Arbeit beigetragen haben: Alexandra Baer, Christian Schulz, Rocco Gasteiger, Björn Meyer, Claudia Janke, Mathias Neugebauer und Roland Pfisterer. Ich danke meinen Eltern Horst und Ursula Tietjen, ohne die all dies nicht möglich gewesen wäre. Und ich danke meiner Freundin Sabine Hietzke, die ihren nachtschreibwütigen Freund in dem dreiviertel jährigen Ausnahmezustand unterstützt hat, so gut sie nur konnte.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Fragestellungen und Aufgaben . . . . .	2
1.2	Ergebnisse und Beitrag der Arbeit . . . . .	3
1.3	Aufbau der Arbeit . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Grundlagen zur illustrativen Visualisierung</b>	<b>7</b>
2.1	Visuelle Wahrnehmung . . . . .	7
2.1.1	Präattentive und attentive Wahrnehmung . . . . .	8
2.1.2	Trennung von Objekt und Hintergrund . . . . .	8
2.1.3	Räumliche Formwahrnehmung . . . . .	9
2.2	Visualisierung in medizinischen Lehrbüchern . . . . .	10
2.2.1	Darstellungstechniken . . . . .	11
2.2.2	Schattierungstechniken . . . . .	13
2.3	Geometrische Grundlagen . . . . .	15
2.3.1	Konnektivitätsinformationen . . . . .	15
2.3.2	Konvexe Hülle in 3D . . . . .	16
2.3.3	Kleinster umschließender Kreis einer 2D-Punktmenge . . . . .	17
2.3.4	Abstandsberechnung zwischen konkaven Strukturen . . . . .	17
2.3.5	Hauptachsenbestimmung & Maximaler Durchmesser . . . . .	18
2.4	Krümmungsapproximation auf diskreten Oberflächen . . . . .	19
2.4.1	Mathematische Grundlagen . . . . .	19
2.4.2	Verfahren zur Krümmungsapproximation . . . . .	21
2.4.3	Optimierung des Krümmungsfeldes . . . . .	26
2.5	Remeshing, Parametrisierung & Texturierung von Oberflächen . . . . .	26
2.5.1	Remeshing . . . . .	26
2.5.2	Parametrisierung von Oberflächen . . . . .	27
2.5.3	Texturierung von Oberflächen . . . . .	29
2.6	Korrektes Rendering transparenter Polygonnetze . . . . .	30
2.6.1	CPU-basierte Verfahren . . . . .	31
2.6.2	GPU-basierte Verfahren . . . . .	32
2.7	Zusammenfassung . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Vom Non-Photorealistic Rendering zur illustrativen medizinischen Visualisierung</b>	<b>35</b>
3.1	Non-Photorealistic Rendering Techniken . . . . .	36
3.1.1	Linienhafte Darstellung . . . . .	36

3.1.2	Punktierttechnik (Stippling) . . . . .	39
3.1.3	Schraffurtechnik (Hatching) . . . . .	41
3.1.4	Illustrative Beleuchtung und Bildoptimierung . . . . .	43
3.2	Illustrative Rendering-Techniken . . . . .	45
3.2.1	Smart Visibility Techniken . . . . .	45
3.2.2	Lokalisierung & Übersichtdarstellungen . . . . .	47
3.3	Illustrative medizinische Visualisierung . . . . .	47
3.3.1	Lern- und Autorensysteme zur medizinischen Visualisierung . . . . .	48
3.3.2	Spezielle Visualisierungstechniken zur Interventionsplanung . . . . .	49
3.3.3	Schichtbasierte Illustration . . . . .	51
3.4	Zusammenfassung . . . . .	51
<b>4</b>	<b>Non-Photorealistic Rendering-Techniken</b>	<b>53</b>
4.1	Anforderungsanalyse . . . . .	53
4.2	Art und Umsetzung der linienhaften Darstellung . . . . .	54
4.3	Punktierttechnik (Stippling) . . . . .	55
4.3.1	Aufbau des texturbasierten Stippling-Algorithmus . . . . .	56
4.3.2	Parametrisierung der Oberfläche . . . . .	56
4.3.3	Texturierung der Oberfläche . . . . .	58
4.3.4	Berechnung der MultiCube-Kantenlänge . . . . .	60
4.4	Schraffurtechnik (Hatching) . . . . .	61
4.4.1	Verfahren zur Krümmungsbestimmung . . . . .	62
4.4.2	Generierung der modellbasierten Vorzugsrichtung . . . . .	65
4.4.3	Kombination der krümmungs- und modellbasierten Vektorfelder . . . . .	66
4.4.4	Parametrisierung und Texturierung der Oberfläche . . . . .	67
4.5	Illustrative Beleuchtung und Bildoptimierung . . . . .	69
4.5.1	Nachbildung der Schattierungstechniken . . . . .	70
4.5.2	Parametereinstellung und deren Simplifizierung . . . . .	73
4.6	Ergebnisse und technische Validierung . . . . .	77
4.6.1	Linienhafte Darstellung . . . . .	77
4.6.2	Punktierttechnik (Stippling) . . . . .	78
4.6.3	Schraffur (Hatching) . . . . .	80
4.6.4	Illustrative Beleuchtung und Bildoptimierung . . . . .	82
4.7	Zusammenfassung . . . . .	83
<b>5</b>	<b>Illustrative Rendering-Techniken</b>	<b>85</b>
5.1	Anforderungsanalyse . . . . .	85
5.2	Smart Visibility Techniken . . . . .	86
5.2.1	Distanzbasierte Transparenz . . . . .	87
5.2.2	Cut Away . . . . .	87
5.2.3	Section View . . . . .	89
5.3	Schichtbasierte Illustrationstechniken . . . . .	90
5.3.1	Graphische Übersicht . . . . .	91
5.3.2	Lokalisation von Zielstrukturen . . . . .	94

5.4	Einschätzung von Sicherheitsabständen & Größenverhältnissen . . . . .	95
5.4.1	Sicherheitsabstände . . . . .	96
5.4.2	Einschätzung von Größenverhältnissen . . . . .	98
5.5	Ergebnisse und technische Validierung . . . . .	99
5.5.1	Smart Visibility Techniken . . . . .	100
5.5.2	Schichtbasierte Illustrationstechniken . . . . .	101
5.5.3	Einschätzung von Sicherheitsabständen & Größenverhältnissen . . . . .	103
5.6	Zusammenfassung . . . . .	104
<b>6</b>	<b>Illustrative medizinische Visualisierung: Eine Fallstudie</b>	<b>107</b>
6.1	Halslymphknotenauräumung (Neck Dissection) . . . . .	107
6.1.1	Anatomischer Aufbau des Halses . . . . .	108
6.1.2	Datenakquisition . . . . .	109
6.1.3	TNM-Klassifizierung . . . . .	110
6.1.4	Arten der Neck Dissection . . . . .	112
6.1.5	Klassische Planung . . . . .	113
6.1.6	Zusammenfassung . . . . .	115
6.2	Voraussetzungen für die computergestützte Planung . . . . .	115
6.2.1	Datenaufbereitung . . . . .	115
6.2.2	Anforderungsanalyse . . . . .	116
6.3	Unterstützung der chirurgischen Fragestellungen . . . . .	118
6.4	Design und Realisierung der computergestützten Planung . . . . .	119
6.4.1	Design des Software-Assistenten . . . . .	119
6.4.2	Praktische Umsetzung des Designs . . . . .	120
6.4.3	Grundsätzliche Umsetzung der 3D-Visualisierung . . . . .	124
6.5	Angewendete Visualisierungstechniken . . . . .	127
6.5.1	Allgemeine Visualisierungsparameter . . . . .	127
6.5.2	Non-Photorealistic Rendering-Techniken . . . . .	127
6.5.3	Illustrative Rendering Techniken . . . . .	128
6.5.4	Spezielle Visualisierungstechniken zur Interventionsplanung . . . . .	129
6.6	Demonstration anhand eines Fallbeispiels . . . . .	130
6.6.1	Wizard zur semi-automatischen TNM-Klassifizierung . . . . .	130
6.6.2	Wahl der Neck Dissection . . . . .	131
6.6.3	Vorstellung beim Tumor-Board . . . . .	132
6.7	Ergebnisse und klinische Evaluierung . . . . .	133
6.7.1	Einfluss der Visualisierungsformen . . . . .	134
6.7.2	Evaluation des NSP in der Kopf- und Halschirurgie . . . . .	135
6.8	Zusammenfassung . . . . .	135
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung &amp; Ausblick</b>	<b>137</b>
7.1	Laufende Arbeiten . . . . .	138
7.2	Kritische Anmerkungen & Ausblick . . . . .	138
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>141</b>