

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Institut für Simulation und Graphik  
der Fakultät für Informatik



Diplomarbeit  
im Studiengang Computervisualistik

## - DynaDataExplorer -

Ein System zur angepassten,  
visuellen Analyse von Perfusionsdaten

Arvid Malyszczyk



Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Fakultät für Informatik  
Institut für Simulation und Graphik

**Diplomarbeit**  
im Studiengang Computervisualistik

**- DynaDataExplorer -**

**Ein System zur angepassten,  
visuellen Analyse von Perfusionsdaten**

Verfasser: Arvid Malyszczyk  
geboren am: 26. April 1979  
in: Berlin-Kaulsdorf  
Matrikelnummer: 162505

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. BERNHARD PREIM  
2. Gutachter: Dr. MARCEL GÖTZE

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. BERNHARD PREIM  
Dipl.-Ing. STEFFEN OELTZE

Bearbeitungszeitraum: Dezember 2006 bis Mai 2007



# Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Arvid Malyszczuk (Matrikel-Nr. 162505), die vorliegende Arbeit allein und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen angefertigt zu haben.

Arvid Malyszczuk

Magdeburg, 13. Juni 2007



# Danksagung

An erster Stelle möchte ich meiner Familie danken - ganz besonders meinen Eltern Hannelore und Steffen Malyszczyk und meinem Schwesterherz Manja. Danke, dass ihr mir dieses Studium ermöglicht habt und ich all die Jahre eure Liebe und Unterstützung erfahren durfte. Meinen Freunden danke ich für die fantastische Freundschaft, den moralischen Rückhalt und ihre endlose Geduld.

Ein besonderer Dank gilt auch meinen Betreuern Prof. Dr. Bernhard Preim und Dipl.-Ing. Steffen Oeltze, die mich während meiner Diplomzeit nicht nur mit fachlichen Ratschlägen und konstruktiver Kritik hervorragend unterstützt haben, sondern auch stets motivierende Worte fanden und immer ein offenes Ohr für meine Sorgen hatten.

Des Weiteren möchte ich Heike Kißner für ihr großzügiges Verständnis danken, dass ich aufgrund dieser Arbeit den Verpflichtungen meiner Nebentätigkeit am VDTC nicht immer gleich nachgehen konnte.

Außerdem möchte ich mich bei allen MitdiplomandInnen und meinen Mitbewohnern des Diplomandenlabors für die wertvollen Diskussionen, die zahlreichen Tipps und die schönen Stunden bedanken. Ein abschließender Dank geht an die geduldigen Korrekturleser.





# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Zielsetzung . . . . .	3
1.3	Gliederung der Arbeit . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Perfusionsdiagnostik</b>	<b>5</b>
2.1	Perfusionsdiagnostik . . . . .	5
2.1.1	Bildakquisition . . . . .	6
2.1.2	Initiale Betrachtung . . . . .	8
2.1.3	Vorverarbeitung . . . . .	9
2.1.4	Zeit-Intensitätskurven . . . . .	12
2.2	Fallbeispiele . . . . .	16
2.2.1	Tumorperfusion . . . . .	16
2.2.2	Hirnperfusion . . . . .	19
2.2.3	Myokardperfusion . . . . .	22
2.3	Zusammenfassung . . . . .	25
<b>3</b>	<b>Grundlagen der visuellen Analyse von Perfusionsdaten</b>	<b>27</b>
3.1	Visuelle Analyse mehrdimensionaler Daten . . . . .	27
3.1.1	Anforderungen . . . . .	27
3.1.2	Visuelle Datenexploration . . . . .	29
3.1.3	Vorverarbeitung . . . . .	30
3.1.4	Visuelle Attribute . . . . .	32
3.1.5	Fokus- und Kontexttechniken . . . . .	35
3.1.6	Panelmatrizen . . . . .	36
3.1.7	Glyphenbasierte Techniken . . . . .	39
3.2	Visuelle Analyse von Perfusionsdaten . . . . .	42
3.2.1	Fokus- und Kontexttechniken . . . . .	42
3.2.2	Glyphenbasierte Techniken . . . . .	42
3.2.3	Volumenbasierte Techniken . . . . .	44
3.2.4	Kombinierte Techniken . . . . .	45
3.2.5	Softwareassistenten für Perfusionsdaten . . . . .	46
3.3	Zusammenfassung . . . . .	49

<b>4</b>	<b>Entwurf</b>	<b>51</b>
4.1	Anforderungsanalyse . . . . .	51
4.2	Darstellung der originalen Schichtbilder . . . . .	55
4.3	Selektion interessierender Bereiche . . . . .	56
4.3.1	Selektion im Schichtbild . . . . .	56
4.3.2	Selektion im Parameterraum . . . . .	56
4.3.3	Semi-automatische Selektion . . . . .	61
4.4	DOI-Parameterbilder . . . . .	62
4.5	Glyphenbasierte Multiparametervisualisierung . . . . .	63
4.5.1	Präsentation der Glyphen . . . . .	63
4.5.2	Anordnung der Glyphen . . . . .	64
4.5.3	Erscheinungsbild der Glyphen . . . . .	67
4.5.4	Geometrische Primitive als Glyphen . . . . .	69
4.5.5	Kodierung des Degree-of-Interest . . . . .	73
4.6	Zusammenführung der Techniken . . . . .	74
4.6.1	Entwurf des Layouts der Bedienoberfläche . . . . .	75
4.6.2	Möglichkeiten der Interaktion . . . . .	76
4.7	Zusammenfassung . . . . .	76
<b>5</b>	<b>Implementierung</b>	<b>79</b>
5.1	Die Entwicklungswerkzeuge . . . . .	79
5.1.1	OPENINVENTOR . . . . .	79
5.1.2	MEVISLAB . . . . .	80
5.2	Realisierung des DynaDataExplorers . . . . .	82
5.2.1	Schichtbildbereich . . . . .	82
5.2.2	Selektionsbereich . . . . .	83
5.2.3	Visualisierungsbereich . . . . .	89
5.2.4	Bereich zur Darstellung von Zeit-Intensitätskurven . . . . .	95
5.2.5	Die Bedienoberfläche von DynaDataExplorer . . . . .	95
5.3	Zusammenfassung . . . . .	97
<b>6</b>	<b>Ergebnisse und Auswertung</b>	<b>99</b>
6.1	Verwendete Datensätze und Vorverarbeitung . . . . .	99
6.2	Selektion interessierender Bereiche . . . . .	100
6.2.1	Interaktiver 2D-Scatterplot . . . . .	100
6.2.2	Semi-automatische Selektion . . . . .	103
6.3	Glyphenbasierte Multiparametervisualisierung . . . . .	104
6.3.1	Anordnung der Glyphen . . . . .	105
6.3.2	Glyphenform . . . . .	108
6.4	Darstellung von Zeit-Intensitätskurven . . . . .	111
6.5	Vergleich des DynaDataExplorers mit den Softwareassistenten . . . . .	112

<b>7 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>115</b>
7.1 Weiterführende Ansätze und Verbesserungsvorschläge . . . . .	117
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>120</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>123</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>123</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>127</b>



# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Motivation

Noch immer sterben in den westlichen Industrienationen zu viele Menschen vorzeitig an Herzinfarkt, Schlaganfall (Herz-Kreislaufkrankungen) [20, 73, 68] und bösartigen Neubildungen (Krebserkrankungen) [23]. Zwar scheinen Lebensgewohnheiten und Ernährung einen entscheidenden Einfluss auf das Eintreten der genannten Erkrankungen zu nehmen, doch nicht immer garantiert ein gesunder Lebensstil ein langes und gesundes Leben. Als negative Einflussfaktoren sind außerdem genetische Veranlagungen und das Alter<sup>1</sup> bekannt.

Trotz intensivster Forschungen und anhaltender Fortschritte auf dem Gebiet der medizinischen Methoden zur Therapierbarkeit von Krebs- und Herz-Kreislaufkrankungen existieren noch immer keine Genesung garantierenden Therapien. Beste Heilungschancen bestehen nach wie vor bei einer rechtzeitigen Diagnose dieser Krankheitsbilder. Als medizinische Möglichkeit der Früherkennung haben sich innerhalb der letzten Jahre deshalb so genannte Screenings<sup>2</sup> etabliert. Im Juni 2002 beschloss der Bundestag einstimmig, in Deutschland ein qualitätsgesichertes Mammographie-Screening-Programm einzuführen [40], was den Sinn und die Notwendigkeit solcher Früherkennungsmethoden unterstreicht.

Seit Jahren werden Screenings, Akutdiagnostik, Therapieplanung und Therapie-monitoring erfolgreich von computergestützten Schnittbildverfahren der radiologischen Diagnostik wie die Röntgen-Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT) unterstützt. Mit Hilfe dieser Verfahren können auf nichtinvasive Weise statische Bilddaten von einer zuvor festgelegten *Region of Interest* (ROI) des menschlichen Organismus generiert werden, was eine diagnostische Untersuchung wesentlich vereinfacht und diese für Patienten erträglicher gestaltet.

---

<sup>1</sup>Das Risiko einer Erkrankung steigt mit den Lebensjahren.

<sup>2</sup>Screening: bezeichnet eine besondere Form der Vorsorgeuntersuchung.

In vielen Fällen ist eine zufrieden stellende Beurteilung krankhafter Veränderungen auf der Grundlage statischer Bilddaten nicht möglich. Zusätzlich bedarf es einer Analyse dynamischer Gewebecharakteristiken wie die Gewebebewegung und -perfusion, was die Erzeugung dynamischer (oder auch zeitveränderlicher) Bilddaten erforderlich macht. Ein modernes und zurzeit noch auf Universitätskliniken bzw. medizinische Forschungseinrichtungen beschränktes Verfahren, welches sich mit der Generierung und Auswertung dynamischer Bilddaten beschäftigt, ist die Perfusionsdiagnostik [16]. Im Rahmen dieser Untersuchung erfolgt die Aufzeichnung kontrastmittelangereicherter Bildsequenzen, auf deren Grundlage eine Durchblutungsquantifizierung menschlicher Organe möglich ist. So kann innerhalb der Schlaganfalldiagnostik und der Diagnostik der Koronaren Herzkrankheit (KHK) zwischen ischämischem (griech.: mangelhaft bzw. nicht durchblutet) und nicht-ischämischem Gewebe unterschieden werden. Innerhalb der Tumordiagnostik erlaubt die Perfusionsdiagnostik eine Einschätzung der Bösartigkeit von Tumoren. Eine manuelle Auswertung der gewonnenen Daten ist aufgrund ihres Umfangs jedoch noch immer sehr zeitaufwendig, was sich mit dem von Zeitmangel geprägten klinischen Alltag der Mediziner nur schwer vereinbaren lässt. Aus dieser Situation heraus begründet sich das große Interesse und der ernsthafte Bedarf an effizienten Methoden zur Analyse von Perfusionsdaten.

Wissenschaftliche, computergestützte Visualisierungen sind potenziell geeignet, die Auswertungszeit von Perfusionsdaten deutlich zu verkürzen. Sie sind bereits seit Jahren ein leistungsfähiges Mittel zur visuellen Exploration großer Datenmengen. Hierbei wird die enorme Leistungsfähigkeit des menschlichen visuellen Systems ausgenutzt, indem die meist abstrakten Daten auf visuelle Attribute abgebildet werden [49]. Für die visuelle Analyse von Perfusionsdaten wurden bereits einige Forschungsprototypen und kommerzielle Workstations entwickelt. Diese nutzen bisher nur bedingt die Vorzüge computergestützter Visualisierungen und beschränken sich meist auf die Darstellung von Zeit-Intensitätskurven<sup>3</sup> (ZIKs) und farbkodierten Parameterkarten einzelner, kurvencharakteristischer Parameter.

Insbesondere die vielfältigen Techniken der Multiparametervisualisierung für eine integrierte Visualisierung dieser Parameter zu nutzen, erfolgte bislang nur ansatzweise. Hierbei sind jedoch längst nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft worden und auch die Darstellung an die jeweiligen diagnostischen Fragestellungen anzupassen, wurde nur unzureichend berücksichtigt. Die Motivation dieser Arbeit besteht nun darin, Lösungen zur Beseitigung dieser Defizite zu erarbeiten, um die Analyse von Perfusionsdaten zu vereinfachen und effizienter zu gestalten.

---

<sup>3</sup>Zeit-Intensitätskurven werden aus den Perfusionsdaten abgeleitet und spiegeln die Durchblutung des zu untersuchenden Gewebes wider.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung und Implementierung des prototypischen Systems `DynaDataExplorer` zur angepassten, visuellen Analyse von Perfusionsdaten. Dafür sollen im Entwurf geeignete Techniken entwickelt werden, wobei der Schwerpunkt auf Möglichkeiten zur Selektion interessierender Bereiche in den Daten und die Multiparameterdarstellung von Kurvenparametern mit Hilfe von Glyphen liegt. Insbesondere auf die Anpassung der Multiparameterdarstellung bezüglich der Selektion soll hierbei eingegangen werden, wobei Möglichkeiten zur Fokus- und Kontextvisualisierung mit einbezogen werden sollen. Durch die Integration der entwickelten Techniken in eine Benutzeroberfläche soll das System realisiert werden.

Bei der Entwicklung einer geeigneten glyphenbasierten Multiparameterdarstellung bedarf es einer Diskussion darüber, mit welcher Glyphform sich die Parameter der jeweiligen Perfusionsuntersuchung angemessen darstellen lassen. Unter Berücksichtigung bekannter, wahrnehmungspsychologischer Aspekte muss dabei untersucht werden, welche und wie viele Parameter gleichzeitig kodiert werden sollten. Abschließend soll `DynaDataExplorer` existierenden Analysewerkzeugen für Perfusionsdaten bezüglich der Selektion interessierender Bereiche und der angepassten Multiparameterdarstellung vergleichend gegenübergestellt werden.

Die Implementierung des `DynaDataExplorers` erfolgt in der Programmiersprache C++ in Verbindung mit der Entwicklungsumgebung MEVISLAB, die bereits eine Vielzahl an Modulen für die Visualisierung und Analyse medizinischer Bilddaten bereitstellt. Für die erarbeiteten Techniken sollen neue Module entwickelt und mit bereits vorhandenen Modulen zu einem Netzwerk verbunden werden.

## 1.3 Gliederung der Arbeit

**Kapitel 2** setzt sich mit den allgemeinen Grundlagen der Perfusionsdiagnostik auseinander. Dazu werden im ersten Abschnitt die einzelnen Schritte einer perfusionsdiagnostischen Untersuchung erläutert, welche die Akquirierung aussagekräftiger MRT-Perfusionsdaten, die Extraktion von Zeit-Intensitätskurven, die Ableitung von Kurvenparametern und Methoden zur Analyse dieser Parameter umfassen. Im zweiten Abschnitt werden als konkrete Anwendungsfälle der Perfusionsdiagnostik die Tumor-, Gehirn- und Myokardperfusion vorgestellt.

**Kapitel 3** widmet sich den Grundlagen der visuellen Analyse von Perfusionsdaten. Es wird sich mit den Anforderungen an eine Visualisierung, Methoden zur Datenaufbereitung und Möglichkeiten zur Abbildung von Daten auf visuelle At-

tribute auseinandergesetzt. Anschließend werden die wichtigsten Visualisierungstechniken für mehrdimensionale Daten vorgestellt. Darauf aufbauend erfolgt eine Erläuterung bisheriger Multiparametervisualisierungen von Perfusionsdaten. Außerdem werden exemplarisch einige Analysewerkzeuge für Perfusionsdaten vorgestellt.

**Kapitel 4** befasst sich mit dem Entwurf eines prototypischen Systems, welches die angepasste, visuelle Analyse von Perfusionsdaten unterstützen soll. Für diese Art der Analyse wird zunächst ein Vorgehen erarbeitet und für dessen Umsetzung die gewählten Techniken erläutert. Den Abschluss dieses Kapitels bildet eine Diskussion darüber, wie die erarbeiteten Techniken zu einem System zusammengeführt werden können.

**Kapitel 5** beschreibt die Implementierung des `DynaDataExplorers`, der die Realisierung des im Entwurf entwickelten Systems darstellt. Es werden zu Beginn die gewählten Entwicklungswerkzeuge beschrieben und im Anschluss die implementierten Module und verwendeten Datenstrukturen erläutert.

**Kapitel 6** dient der Präsentation und Auswertung der gewonnenen Ergebnisse. Es werden anfangs die verwendeten Datensätze vorgestellt und daraufhin die einzelnen Resultate der entwickelten Techniken aufgezeigt.

**Kapitel 7** fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen. Außerdem werden noch offene Fragestellungen diskutiert und ein Ausblick auf Verbesserungen der entwickelten Techniken und weiterführende Ansätze gegeben.



# Kapitel 7

## Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein System zur angepassten, visuellen Analyse von Perfusionsdaten entworfen, welches prototypisch mit dem `DynaDataExplorer` innerhalb der Entwicklungsumgebung `MEVISLAB` implementiert wurde. Es wurde zunächst das allgemeine Vorgehen zur visuellen Analyse von Perfusionsdaten untersucht, um hieraus die grundlegenden Anforderungen an das System ableiten zu können. Damit die Analyse an die verschiedenen Fragestellungen einer perfusionsdiagnostischen Untersuchung angepasst werden kann, wurden zusätzliche Anforderungen formuliert. Unter Berücksichtigung aller aufgestellten Anforderungen wurde daraufhin ein erweitertes Vorgehen zur Analyse von Perfusionsdaten vorgeschlagen. Die zur Durchführung dieses Vorgehens gewählten Analysetechniken konnten vollständig umgesetzt und in den `DynaDataExplorer` integriert werden. Diese setzten sich wie folgt zusammen:

- Darstellung der originalen Schichtbilder (im Cine-Mode).
- Selektion interessierender Bereiche im originalen Schichtbild und im Parameterraum von zwei Kurvenparametern.
- Kombinierte Darstellung der Kurvenparameter mittels Glyphen.
- Darstellung der Zeit-Intensitätskurven.

Das vorgeschlagene Vorgehen wird mit der visuellen Begutachtung der originalen Schichtbilder eingeleitet, die im Schichtbildbereich des `DynaDataExplorers` dargestellt werden. Wird dabei bereits ein verdächtiges Gebiet entdeckt, so kann für dessen detailliertere Analyse eine rechteckige ROI innerhalb des Schichtbildbereichs festgelegt werden, von der entweder die zugehörigen Zeit-Intensitätskurven im ZIK-Bereich oder die interessierenden Kurvenparameter in einer glyphenbasierten Multiparameterdarstellung im Visualisierungsbereich veranschaulicht werden können. Des Weiteren kann im Selektionsbereich des Systems die Selektion interessierender Bereiche im Parameterraum der zu untersuchenden Kurvenparameter erfolgen, um Datenelemente mit auffälligen Parameterwerten auszuwählen. Die selektierten Datenelemente können anschließend als DOI-Parameterbild und als

glyphenbasierte Multiparameterdarstellung visualisiert werden, wobei die erzeugten Darstellungen nicht nur jeweils separat, sondern auch gemeinsam und im Kontext des aktuellen Schichtbildes präsentiert werden können. Die Selektion von Glyphen erlaubt schließlich die Auswahl der Zeit-Intensitätskurven des jeweils zugehörigen Gebietes, die daraufhin im ZIK-Bereich angezeigt werden.

Die Selektion interessierender Bereiche im Parameterraum der zwei Kurvenparameter kann manuell mit Hilfe eines Smooth-Brushings in einem interaktiven 2D-Scatterplot durchgeführt werden. Der Plot dient dabei der Veranschaulichung der Werteverteilung der beiden Kurvenparameter der aktuellen Schicht bzw. über allen Schichten, was die Festlegung der Fokusregion unterstützt. Mittels einer Clusteranalyse, die auf dem *k-means*-Algorithmus beruht, besteht im interaktiven 2D-Scatterplot zusätzlich die Möglichkeit der semi-automatischen Selektion interessierender Bereiche.

Anhand von DOI-Parameterbildern, welche die DOI-Werte selektierter Datenelemente binär farbkodieren, kann dem Benutzer ein Überblick über die Verteilung der als sicher bzw. unsicher markierten Bereiche gegeben werden.

Um eine geeignete Glyphentextur zu erzeugen, auf deren Grundlage die Lokalisation und Graduierung auffälliger Strukturen in den Perfusionsdaten möglich ist, wurde sowohl eine voxelweise Anordnung als auch eine LOD-Anordnung der Glyphen umgesetzt. Bei der LOD-Anordnung werden Datenelemente gebietsweise zusammengefasst, sodass jedem Glyphen mehr Platz bezüglich seiner Darstellung zur Verfügung steht und so die Ausprägungen der einzelnen Glyphattribute besser differenziert werden können.

Hinsichtlich der glyphenbasierten Visualisierung der Kurvenparameter wurden verschiedene graphische Primitive als Glyphenform diskutiert und implementiert. Für die gleichzeitige Darstellung der sensitivsten Kurvenparameter jeder perfusionsdiagnostischen Untersuchung wurde jeweils ein bestimmtes geometrisches Primitiv als Standardglyphform favorisiert. Zur Kodierung der Kurvenparameter TTP und Integral von Perfusionsdaten aus der zerebralen Perfusionsdiagnostik fiel die Wahl auf Rechtecke. Als geeignete Glyphform zur gleichzeitigen Visualisierung der Kurvenparameter Wash-In und Wash-Out von Perfusionsdaten aus der Tumordiagnostik erscheinen Toroide angemessen. Für die kombinierte Darstellung der Kurvenparameter Peak und Anstieg von Perfusionsdaten aus der myokardialen Perfusionsdiagnostik wurden Ellipsen gewählt. Diese Entscheidungen beruhen auf einer subjektiven Bewertung und müssen durch eine wahrnehmungsorientierte Evaluierung geprüft werden.

## 7.1 Weiterführende Ansätze und Verbesserungsvorschläge

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte der Entwurf und die Umsetzung des `DynaDataExplorers` aus organisatorischen Gründen nicht unmittelbar in Zusammenarbeit mit Medizinern. Deshalb muss im Rahmen einer Evaluierung geklärt werden, inwieweit die bereitgestellten Techniken für die Analyse von Perfusionsdaten tatsächlich von Nutzen sind bzw. die Diagnose festigen. Da die Auswertung von Perfusionsdaten ein fundiertes Fachwissen auf dem Gebiet der Perfusionsdiagnostik voraussetzt, kommen als Probanden in erster Linie Radiologen in Betracht, die in diesem Bereich tätig sind bzw. diesbezüglich hinreichend Erfahrung haben. Die Evaluierung sollte vor allem die Beantwortung folgender Fragestellungen zum Ziel haben:

- Ist mit dem Smooth-Brushing ein zusätzlicher Erkenntnisgewinn verbunden?
- Sollten beim Brushing interessierende Bereiche vorgeschlagen werden?
- Ist ein Überblick über die selektierten Gebiete auf Grundlage des DOI-Parameterbildes hilfreich?
- Können mit der glyphenbasierten Multiparametervisualisierung auffällige Bereiche schneller identifiziert und charakterisiert werden als mit Hilfe separater Parameterkarten?
- Welche Glyphform ist für die Kodierung der jeweils sensitivsten Parameter jeder perfusionsdiagnostischen Untersuchung besonders geeignet?
- Ist eine LOD-Anordnung der Glyphen akzeptabel und sollten dabei verschiedene LOD-Stufen eingestellt werden können oder wird eine bestimmte LOD-Stufe bevorzugt?

Anhand der Antworten könnten dann Standardeinstellungen für die glyphenbasierte Multiparametervisualisierung ermittelt werden. Neben der Bewertung der Bedienoberfläche sollte bei der Evaluierung außerdem ein Monitoring der Handhabung des `DynaDataExplorers` erfolgen, um einen Vergleich von Geschwindigkeit und Genauigkeit mit kommerzieller Software bezüglich der Identifikation auffälliger Bereiche zu ermöglichen.

**Selektion interessierender Bereiche im Parameterraum** Bei der Darstellung der Werteverteilung der Kurvenparameter als 2D-Scatterplot hat sich gezeigt, dass durch die Verwendung von Transparenz die Häufigkeit von Überdeckungen der Plotpunkte nur unzureichend bzw. gar nicht erkannt wird. Für die Veranschaulichung dieser Häufigkeit könnten entsprechende Histogramme entlang der Achsen des 2D-Scatterplots eingeblendet werden. Des Weiteren wäre eine Zooming-Funktionalität im interaktiven 2D-Scatterplot vorteilhaft, um bei der Selektion von Datenelementen mit niedrigen Kurvenparameterwerten den Fokusbereich leichter festlegen zu können.

Mit dem interaktiven 2D-Scatterplot kann bisher nur im Parameterraum von zwei Kurvenparametern gebrusht werden. Die Anzahl der Kurvenparameter kann erhöht werden, wenn mehrere, miteinander verlinkte 2D-Scatterplots verwendet werden. Außerdem sind die DOI-Range-Slider zu realisieren und hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit zur Selektion interessierender Bereiche im Parameterraum der Kurvenparameter zu überprüfen, was aufgrund der begrenzten Zeit für diese Arbeit bisher nicht erfolgte.

Die automatische Partitionierung des Parameterraumes auf Grundlage des *k-means*-Algorithmus ist bezüglich der ermittelten Cluster instabil. Dieses Problem könnte durch die manuelle Festlegung der Clusterzentren behoben werden. Es muss aber auch untersucht werden, inwieweit andere Clusterverfahren hierfür besser geeignet sind. Außerdem sollte eine manuelle Manipulation des Clusterpolygons möglich sein, um nachträglich selektierte Gebiete weiter eingrenzen zu können.

**Visualisierung der Kurvenparameter** Für die Interpretation der Glyphendarstellung sind entsprechende Legenden zu entwickeln, da hierfür bislang nur die verwendete Farbskala im Visualisierungsbereich bereitgestellt wird. Die Erzeugung einzelner Ausschnitte der glyphenbasierten Multiparametervisualisierung ist derzeit über die Definition einer ROI im Schichtbild geregelt. Zwar sollte diese auch im Visualisierungsbereich festgelegt werden können - allerdings wäre die Integration eines stufenlosen Zooms in diesem Bereich die elegantere Lösung. Bei der Darstellung von Ausschnitten sollte außerdem die Möglichkeit zum Scrollen (Verschiebung des Fensterinhaltes in horizontaler und vertikaler Richtung) gegeben sein.

Das originale Schichtbild wird nicht nur im Schichtbildbereich angezeigt, sondern kann auch bei der Visualisierung der Kurvenparameter eingeblendet werden. Durch die Zusammenführung des Schichtbild- und Visualisierungsbereichs könnte diese Redundanz aufgelöst werden.

**Zeit-Intensitätskurven** Die ZIKs eines Gebietes können bisher nur über die Selektion der zugehörigen Glyphen ausgewählt werden. Dies muss dahingehend weiterentwickelt werden, dass ZIKs außerdem über eine frei definierbare ROI im Visualisierungsbereich ausgewählt werden können. Durch die Verwendung von Profile-Flags könnte die Darstellung der ZIKs in die Visualisierung der Kurvenparameter integriert werden, wodurch der ZIK-Bereich eingespart werden könnte.



# Abkürzungsverzeichnis

<i>AHA</i>	American Heart Association
<i>AIF</i>	Arterial Input Function
<i>CBF</i>	Cerebral Blood Flow
<i>CBV</i>	Cerebral Blood Volume
<i>CT</i>	Computertomographie
<i>CVP</i>	Closest Vessel Projektion
<i>DOI</i>	Degree of Interest
<i>DT</i>	Diffusions-Tensor
<i>EPI</i>	Echo-planar-Imaging
<i>FSE</i>	Fast-Spin-Echo
<i>Gd – DTPA</i>	Gadolinium-Diethylenetriaminpentaessigsäure
<i>KHK</i>	Koronare Herzkrankheit
<i>KM</i>	Kontrastmittel
<i>LOD</i>	Level of Detail
<i>LUT</i>	Look-Up-Table
<i>LV</i>	Linkes Ventrikel
<i>MIP</i>	Maximum Intensity Projektion
<i>MPRI</i>	Myokardialer Perfusionsreserve-Index
<i>MRT</i>	Magnetresonanztomographie
<i>MTT</i>	Mean Transit Time
<i>OTF</i>	Opazitäts-Transfer-Funktion
<i>PCA</i>	Principal Component Analysis
<i>PE</i>	Peak Enhancement
<i>PET</i>	Positronen-Emmissionstomografie
<i>ROI</i>	Region of Interest
<i>SDOF</i>	Semantic Depth of Field
<i>SPECT</i>	Single Photon Emission Computed Tomographie
<i>TTP</i>	Time to Peak
<i>ZIK</i>	Zeit-Intensitätskurve
<i>ZNS</i>	Zentrales Nervensystem





# Tabellenverzeichnis

3.1	Vergleich von Softwareassistenten für Perfusionsdaten . . . . .	49
5.1	Implementierte Module des interaktiven 2D-Scatterplots. . . . .	84
6.1	Verwendete Datensätze . . . . .	99
6.2	Gegenüberstellung der Systeme zur Analyse von Perfusionsdaten .	113



# Abbildungsverzeichnis

2.1	Schema Perfusionsdiagnose . . . . .	6
2.2	Beispiel Kontrastmittelpassage . . . . .	7
2.3	Glättung der Signal-Intensitätskurve . . . . .	10
2.4	Beispiel Bewegungsartefakt . . . . .	11
2.5	Schema Zeit-Intensitätskurve . . . . .	15
2.6	Tumervaskularisation . . . . .	17
2.7	Schema ZIKs der Tumorperfusion . . . . .	18
2.8	Gegenüberstellung Diffusions- und Perfusions-Aufnahme . . . . .	20
2.9	Schema ZIKs der Gehirnperfusion . . . . .	21
2.10	Lage der Aufnahmeschichten zum Myokard . . . . .	23
2.11	Schema ZIKs in Ruhe und unter Stress . . . . .	24
3.1	Effektive Visualisierung . . . . .	28
3.2	Beispiel einer Multiparametervisualisierung . . . . .	29
3.3	Präattentive Wahrnehmung . . . . .	32
3.4	Gebräuchliche Farbskalen . . . . .	34
3.5	Beispiele verschiedener Fokus- und Kontexttechniken . . . . .	36
3.6	Arten der Korrelation zwischen zwei Variablen . . . . .	37
3.7	Smooth Brushing & Linking . . . . .	39
3.8	Glyphenbasierte Multiparametervisualisierung . . . . .	40
3.9	Texturgenerierung mit Hilfe von Glyphen . . . . .	41
3.10	Flexible Linsen . . . . .	42
3.11	Farbikone . . . . .	43
3.12	Glyphen zur Visualisierung kardialer MRT-Daten . . . . .	44
3.13	Maximum Intensity Projection . . . . .	45
3.14	Isolinien und Höhenfelder . . . . .	46
4.1	Allgemeines Vorgehen zur Analyse von Perfusionsdaten . . . . .	52
4.2	Vorgeschlagenes Vorgehen zur Analyse von Perfusionsdaten . . . . .	55
4.3	Selektion interessierender Bereiche im Schichtbild . . . . .	56
4.4	Einfacher DOI-Range-Slider . . . . .	58
4.5	DOI-Range-Slider mit Intervalleinteilung . . . . .	58
4.6	DOI-Range-Slider mit Histogramm . . . . .	59
4.7	Interaktiver 2D-Scatterplot . . . . .	60
4.8	Semi-automatische Selektion interessierender Bereiche . . . . .	61

---

4.9	Beispiel DOI-Parameterbild . . . . .	62
4.10	Präsentation der Glyphen . . . . .	64
4.11	Schwierigkeiten bei der Darstellung von Glyphen . . . . .	65
4.12	LOD-Anordnung von Glyphen . . . . .	67
4.13	Abbildung der Kurvenparameter auf visuelle Attribute . . . . .	68
4.14	Glyphform Kreisscheibe . . . . .	70
4.15	Glyphform Rechteck . . . . .	70
4.16	Glyphform Ellipse . . . . .	71
4.17	Glyphform Ellipsoid . . . . .	72
4.18	Glyphform Toroid . . . . .	72
4.19	Glyphform orientierter Toroid . . . . .	73
4.20	Beispiel DOI-Kodierung . . . . .	74
4.21	Entwurf Bedienoberfläche . . . . .	75
5.1	Beispielnetzwerk von MeVisLab . . . . .	81
5.2	Das Makro-Modul DynaDataExplorerGUI . . . . .	82
5.3	Netzwerk des Schichtbildbereichs . . . . .	83
5.4	Netzwerk des interaktiven 2D-Scatterplots . . . . .	84
5.5	Erzeugung eines Datenelementes . . . . .	86
5.6	Erzeugung von DOI-Look-Up-Tables . . . . .	86
5.7	Aufbau der XMarkerList . . . . .	87
5.8	Netzwerk des Visualisierungsbereichs . . . . .	89
5.9	Szenengraph von SoDynaDataMap2D . . . . .	91
5.10	Szenengraph Schichtbild-Ebene . . . . .	92
5.11	Szenengraph der Glyphen-Ebene . . . . .	93
5.12	Klassendiagramm der implementierten Glyphen . . . . .	94
5.13	Netzwerk des ZIK-Bereichs . . . . .	95
5.14	Die Bedienoberfläche des DynaDataExplorers . . . . .	96
6.1	Smooth-Brushing der Parameter Peak und Integral . . . . .	101
6.2	Smooth-Brushing der Parameter Wash-In und Wash-Out . . . . .	102
6.3	Ergebnis Semi-automatische Selektion . . . . .	104
6.4	Voxelweise Anordnungen von Glyphen . . . . .	106
6.5	LOD-Anordnungen von Glyphen . . . . .	107
6.6	Glyphenbasierte Darstellung der Kurvenparameter TTP und Integral	109
6.7	Glyphenbasierte Darstellung der Kurvenparameter Wash-In und Wash-Out . . . . .	110
6.8	Glyphenbasierte Darstellung der Kurvenparameter Peak und Anstieg	111
6.9	Darstellung von Zeit-Intensitätskurven der zerebralen Ischämie . . .	112

# Literaturverzeichnis

- [1] AL-SAAD, NIDAL, MICHAEL GROSS und AXEL BORNSTEDT: *Comparison of Various Parameters for Determining an Index of myocardial Perfusion Reserve in Detecting Coronary Stenosis with Cardiovascular Magnetic Resonance Tomography*. Z Kardiol, 90:824–34, 2001.
- [2] AL-SAAD, NIDAL, EIKE NAGEL, MICHAEL GROSS und ET AL.: *Noninvasive Detection of Myocardial Ischemia from Perfusion Reserve based on Cardiovascular Magnetic Resonance*. Circulation, 101(12):1379–1383, Mar 2000.
- [3] ANTWERPES, FRANK und ET.AL.: *Flexicon - Das flexible Lexikon, Ein offenes medizinisches Lexikon*. URL: [http://flexicon.doccheck.com/Flexicon-\\_Das\\_flexible\\_Lexikon](http://flexicon.doccheck.com/Flexicon-_Das_flexible_Lexikon). zuletzt eingesehen am 04.02.2007.
- [4] APPERLEY, M., I. TZAVARAS und R. SPENCE: *A bifocal display technique for data presentation*. In: *Proc. EuroGraphics*, Seiten 27–43, 1982.
- [5] BALTZER, P.A.T.: *Blooming: ein neues Zeichen in der dynamischen MR-Mammographie: Auftreten und Diagnostische Wertigkeit in der Differenzierung zwischen malignen und benignen Herdbefunden*. Doktorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2005.
- [6] BARRETT, W. und E. MORTENSEN: *Interactive live-wire boundary extraction*. Medical Image Analysis, 1(4):331–341, 1997.
- [7] BEECKEN, WD und Y. SHING: *Tumorangiogenese und Antiangiogenesetherapie maligner Tumore*. Journal für Urologie und Urogynäkologie, 7(3):7–14, 2000.
- [8] BEIER, J., T. BÜGE, C. STROSZCZYNSKI, H. OELLINGER, E. FLECK und R. FELIX: *2D- und 3D-Parameterbilder zur Analyse der Kontrastmittelverteilung bei dynamischen CT- und MR-Untersuchungen*. Der Radiologe, 38(10):832–840, 1998.
- [9] BERTIN, JACQUES: *Graphische Darstellungen und die graphische Weiterverarbeitung der Information*. Walter de Gruyter, 1982.

- [10] BIER, ERIC A., MAUREEN C. STONE, KEN PIER, WILLIAM BUXTON und TONY D. DE ROSE: *Toolglass and magic lenses: the see-through interface*. In: *SIGGRAPH '93: Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, Seiten 73–80, New York, NY, USA, 1993. ACM Press.
- [11] BOKINSKY, A.: *Multivariate Data Visualization with Data-Driven Spots*. Doktorarbeit, University of North Carolina, 2003.
- [12] BREEUWER, MARCEL: *Quantification of Artherosclerotic Heart Disease with Cardiac MRI*. *MEDICA MUNDI*, 49:30–38, 2005.
- [13] CALAMANTE, F., M. MØRUP und L.K. HANSEN: *Defining a local arterial input function for perfusion MRI using independent component analysis*. *Magn Reson Med*, 52:789–797, 2004.
- [14] CAROTENUTO, L., M. ERCOLANI, R. PASSARIELLO und ET AL.: *Software Tool for Computer Aided Diagnosis of Breast Cancer in Contrast Enhanced MR Sequences*. In: *EuroPACS-MIR*, 2004.
- [15] CERQUEIRA, MANUEL D., NEIL J. WEISSMAN, VASKEN DILSIZIAN und ET AL.: *Standardized Myocardial Segmentation and Nomenclature for Tomographic Imaging of the Heart. A Statement for Healthcare Professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association*. *Int J Cardiovasc Imaging*, 18(1):539–542, Feb 2002.
- [16] CHOYKE, P. L., A. J. DWYER und M. V. KNOPP: *Functional Tumor Iaging with Dynamic Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Imaging*. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 17(5):509–520, 2003.
- [17] COTO, ERNESTO, SÖREN GRIMM, STEFAN BRUCKNER, MEISTER EDUARD GRÖLLER, ARMIN KANITSAR und OMAIRA RODRIGUEZ: *MammoExplorer: An Advanced CAD Application for Breast DCE-MRI*. In: GREINER, G., J. HORNEGGER, H. NIEMANN und M. STAMMINGER (Herausgeber): *Vision, Modelling, and Visualization 2005*, Seiten 91–98, nov 2005.
- [18] DIEKMANN, CLAUDIA: *MR-Perfusionsmessungen an experimentellen Hirntumoren*. Doktorarbeit, Freie Universität Berlin, Fachbereich Physik, 2001.
- [19] DOLEISCH, H. und H. HAUSER: *Smooth Brushing for Focus+Context Visualization of Simulation Data in 3D*. In: SKALA, V. (Herausgeber): *Journal of WSCG*, Band 10, 2002.

- 
- [20] FIEBACH, J. B., M. SCHLAMANN und P. D. SCHELLINGER: *MR-Diffusion und -Perfusion beim Schlaganfall*. *Der Radiologe*, 45(5):412–419, 2005.
- [21] FURNAS, G. W.: *Generalized fisheye views*. *SIGCHI Bull.*, 17(4):16–23, April 1986.
- [22] G, OREL S., D. MITCHELL und M.D. SCHNALL: *MR Imaging of the Breast for the Detection, Diagnosis, and Staging of Breast Cancer*. *Radiology*, 220:13–30, 2001.
- [23] GESELLSCHAFT DER EPIDEMIOLOGISCHEN KREBSREGISTER IN DEUTSCHLAND E.V, ROBERT KOCH INSTITUT DEUTSCHLAND: *Krebs in Deutschland, Häufigkeiten und Trends*, 2006. URL: <http://www.gekid.de>.
- [24] GRANDIN, C.B.: *Assessment of brain perfusion with MRI: methodology and application to acute stroke*. *Neuroradiology*, 45(11):755–766, 2003.
- [25] GRINSTEIN, GEORGES G., RONALD M. PICKETT und MARIAN G. WILLIAMS: *EXVIS: An exploratory visualization environment*. In: *Graphics Interface'89*, Seiten 254–261, London, Ontario, Canada, Jun 1989.
- [26] HAN, JIAWEI und MICHELINE KAMBER: *Data Mining: Concepts and Techniques*. Morgan Kaufmann, 2001.
- [27] HAUSER, H.: *Generalizing Focus+Context Visualization*. In: *Proceedings of the 2003 Dagstuhl Seminar on Scientific Computing*, Seiten 305–327, 2005.
- [28] HEALEY, CHRISTOPHER G., V. INTERRANTE und P. RHEINGANS: *Perceptual Techniques for Scientific Visualization*. In: *Proceedings of SIGGRAPH99: Course 6*, Seiten 1–42, 1999.
- [29] HEALEY, CHRISTOPHER G., LAURA TATEOSIAN, JAMES T. ENNS und MARK REMPLE: *Perceptually based brush strokes for nonphotorealistic visualization*. *ACM Trans. Graph.*, 23(1):64–96, 2004.
- [30] HECKMANN, J.G., F.J. ERBGUTH, M.J. HILZ, C.J. LANG und B. NEUNDÖRFER: *Cerebrovascular circulation from a clinical view. Historical review, physiology, pathophysiology, diagnostic and therapeutic aspects*. *Medizinische Klinik (Munich)*, 96(10):583–592, Oct 2001.
- [31] IACCONI I., CILOTTI A., MARINI C., MORETTI M., MAZZOTTA D., ODOGUARDI F., CARDILLO F.A. und STARITA A.: *Maximum Intensity Projection in contrast-enhanced magnetic resonance of the breast: Current applications and prospectives*. *European Conference on Emergent Aspects in Clinical Data Analysis (EACDA'05)*, 1(7):46–52, 2005.

- [32] KAISER, BERND, SEBASTIAN GLOBITS, HARALD MAYR, MARIANNE MITTENDORFER und ET AL.: *Myokardiale First-Pass-Perfusionsdiagnostik mittels Magnetresonanztomographie*. Journal für Kardiologie, 10:26–31, 2003.
- [33] KEIM, DANIEL A.: *Datenvisualisierung und Data Mining*. Datenbank-Spektrum, 2(2):30–39, 2002.
- [34] KELLER, P. R. und M. M. KELLER: *Visual Cues. Practical Data Visualization*. IEEE Computer Society Press, 1993.
- [35] KINDLMANN, GORDON: *Visualization and Analysis of Diffusion Tensor Fields*. Doktorarbeit, School of Computing University of Utah, 2004.
- [36] KÖNIG, M., E. KLOTZ und L. HEUSER: *Cerebral perfusion CT: theoretical aspects, methodical implementation and clinical experience in the diagnosis of ischemic cerebral infarction*. Röfo, 172(3):210–218, Mar 2000.
- [37] KNOPP, M.V., C. OBIER, I. ZUNA, H. JUNKERMANN, T. HESS, I. JUNKERMANN, G. BRIX und G. VAN KAICK: *Multiple Reader Analysis for Evaluation of functional MR Mammography*. Der Radiologe, 38:307–314, 1998.
- [38] KOGA, MASATOSHI, DAVID C REUTENS, PETER WRIGHT, THANH PHAN, ROMESH MARKUS, BRUNO PEDREIRA, GREG FITT, INDRA LIM und GEOFFREY A DONNAN: *The existence and evolution of diffusion-perfusion mismatched tissue in white and gray matter after acute stroke*. Stroke, 36(10):2132–2137, Oct 2005.
- [39] KOHLE, S., B. PREIM, J. WIENER und H.-O. PEITGEN: *Exploration of time-varying data for medical diagnosis*. In: GREINER, G. ET AL. (Herausgeber): *Vision, Modeling, and Visualization (VMV) 2002*, Seiten 31–38. Amsterdam: IOS Press, 2002.
- [40] KOOPERATIONSGEMEINSCHAFT MAMMOGRAPHIE: *Mammographiescreening für Frauen ab 50 Jahren*. URL: <http://www.ein-teil-von-mir.de>. Zuletzt besucht am 28.12.2006.
- [41] KOSARA, R., G. SAHLING und H. HAUSER: *Linking scientific and information visualization with interactive 3D scatterplots*. In: *International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision (WSCG)*, Seiten 133–140, 2004.
- [42] KOSARA, ROBERT, SILVIA MIKSCH und HELWIG HAUSER: *Semantic Depth of Field*. In: *INFOVIS '01: Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 2001 (INFOVIS'01)*, Seite 97, Washington, DC, USA, 2001. IEEE Computer Society.



- [43] KUSS, ANJA: *Techniken zur Exploration myokardialer Perfusionsdaten*. Diplomarbeit, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Fakultät für Informatik, 2006.
- [44] KUHLE, CHRISTIANE KATHARINA, PETER MIELCARECK, SVEN KLASCHIK, CLAUDIA LEUTNER, EVA WARDELMANN, JÜRGEN GIESEKE und HANS H. SCHILD: *Dynamic Breast MR Imaging: Are Signal Intensity Time Course Data Useful for Differential Diagnosis of Enhancing Lesions?* *Radiology*, 211:101–110, 1999.
- [45] LAIDLAW, DAVID H., ERIC T. AHRENS, DAVID KREMERS und ET AL: *Visualizing Diffusion Tensor Images of the Mouse Spinal Cord*. In: EBERT, DAVID, HANS HAGEN und HOLLY RUSHMEIER (Herausgeber): *IEEE Visualization '98*, Seiten 127–134, 1998.
- [46] LEE, DH, DW KANG, JS AHN und ET AL.: *Imaging of the ischemic penumbra in acute stroke*. *Korean J Radiol*, 6(2):64–74, Apr-Jun 2005.
- [47] LEVKOWITZ, H. und G. T. HERMAN: *Color scales for image data*. *IEEE Computer Graphics & Applications*, 12(1):72–80, 1992.
- [48] LYSAKER, M., A. LUNDERVOLD und X.-C. TAI: *Noise Removal Using Fourth-Order Partial Differential Equation With Applications to Medical Magnetic Resonance Images in Space and Time*. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 22(12):1579–1590, 2003.
- [49] MC CORMICK, B. H.: *Visualization in Scientific Computing*. *Computer Graphics*, 21(6):1–14, 1987.
- [50] MEDIS: *QMass User Guide*. <http://www.medis.nl/assets/QMassMR.pdf>. zuletzt eingesehen am 26.02.2007.
- [51] MLEJNEK, MATEJ, PIERRE ERMES, ANNA VILANOVA, ROB VAN DER RIJT, HARRIE VAN DEN BOSCH, MEISTER EDUARD GRÖLLER und FRANS GERRITSEN: *Application-Oriented Extensions of Profile Flags*. In: *Eurographics / IEEE VGTC Symposium on Visualization*, Seiten 339–346. IEEE CS, 2006.
- [52] MROZ, L. und H. HAUSER: *RTVR - a flexible java library for interactive volume rendering*. In: *In IEEE Visualization*, 2001.
- [53] NAGEL, EIKE, NIDAL AL-SAAFI und ECKHART FLECK: *Cardiovascular Magnetic Resonance: Myocardial Perfusion*. *Herz*, 25(4):409–416, Jun 2000.

- [54] NOBLE, N.M.I.: *Information Alignment and Extraction from Cardiac Magnetic Resonance Images*. Doktorarbeit, Guy's and King's and St. Thomas' School of Medicine, King's College London, 2004.
- [55] OELTZE, S., C. BENDICKS, S. BEHRENS und B. PREIM: *Multiparametervisualisierung zur Exploration dynamischer Bilddaten*. In: *Bildverarbeitung für die Medizin*, Informatik aktuell, Seiten 317–21. Springer, 2005.
- [56] OELTZE, S., J. GROTHUES, A. HENNEMUTH, A. KUSS und B. PREIM: *Integrated Visualization of Morphologic and Perfusion Data for the Analysis of Coronary Artery Disease*. In: *Eurographics / IEEE VGTC Symposium on Visualization*, Seiten 131–138, 2006.
- [57] PAASCHE, LYDIA: *Integrierte Visualisierung kardialer MRT-Daten zur Beurteilung von Funktion, Perfusion und Viabilität des Herzmuskels*. Diplomarbeit, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Fakultät für Informatik, 2007.
- [58] PETRELLA, J.R. und J.M. PROVENZALE: *MR Perfusion Imaging of the Brain: Techniques and Applications*. AJR, 175:207–219, 2000.
- [59] POHLE, R.: *Computerunterstützte Bildanalyse zur Auswertung medizinischer Bilddaten*. Habilitationsschrift, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Informatik, 2004.
- [60] PREIM, B. and D. BARTZ: *Visualization in Medicine*. Morgan Kaufmann Publishers Inc, US, 1 edition, 2007.
- [61] PREIM, B., S. KOHLE, O. KONRAD-VERSE, R. RASCHER-FRIESENHAUSEN, J. WIENER, R. LEPPEK, and H.-O. PEITGEN: *Mehrdimensionale visualisierung dynamischer Bilddaten am Beispiel der Durchblutungsquantifizierung*. In SCHULZE, T., S. SCHLECHTWEG, and V. HINZ (editors): *SimVis - Simulation & Visualisierung 2003*, pages 77–88, Magdeburg, 2003. SCS Europe.
- [62] RHEINGANS, P.: *Task-Based Color Scale Design*. Proceedings Applied Image and Pattern Recognition. SPIE, Oct 1999.
- [63] RHEINGANS, P. and B. TEBBS: *A tool for dynamic explorations of color mappings*. IEEE Computer Graphics, 24(2):145–146, 1990.
- [64] ROBERTSON, P. K.: *Visualizing color gamuts: A user interface for the effective use of perceptual color spaces in data displays*. IEEE Computer Graphics & Applications, 8(5):50–64, 1988.

- 
- [65] ROYAL BROMPTON HOSPITAL, IMPERIAL COLLEGE: *PerfusionTools User Guide*. <http://www.cmrtools.com/cmrTools/public/perfusion.pdf>. zuletzt eingesehen am 26.02.2007.
- [66] RUECKERT, D., L. I. SONODA, C. HAYES, D. L. HILL, M. O. LEACH, and D. J. HAWKES: *Nonrigid registration using free-form deformations: application to breast MR images*. IEEE Trans Med Imaging, 18(8):712–721, Aug 1999.
- [67] SCHENK, A., G. PRAUSE, and H.-O. PEITGEN: *Local Cost Computation for Efficient Segmentation of 3D Objects with Live Wire Medical Imaging*. In *Image Processing (San Diego, USA, 17.-23. February), Proceedings of SPIE Vol*, volume 4322, pages 1357–1364, Sep 2001.
- [68] SCHERING AG DEUTSCHLAND: *CT und MRT des Herzens*. URL: <http://www.schering.de/scripts/de/index.php>. Zuletzt besucht am 28.12.2006.
- [69] SCHUMANN, H. and W. MÜLLER: *Visualisierung. Grundlagen und allgemeine Methoden*. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2000.
- [70] SHNEIDERMAN, BEN: *The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations*. In *Proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Visual Languages*, pages 336–343. IEEE Computer Society, 1996.
- [71] SPECHT, MICHAEL: *Glyph-Enhanced Volume Visualization*. Master’s thesis, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Fakultät für Informatik, 2006.
- [72] SPENCE, ROBERT: *Information Visualization*. Addison-Wesley, 2001.
- [73] STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND: *Gesundheitswesen: Todesursachen*. URL: <http://www.destatis.de>. Zuletzt besucht am 28.12.2006.
- [74] STEGMANN, MIKKEL B., HILDUR ÓLAFSDÓTTIR, and HENRIK BW. LARSSON: *Unsupervised Motion-Compensation of Multi-Slice Cardiac Perfusion MRI*. Medical Image Analysis, 9(4):394–410, 2005.
- [75] TREISMAN, ANNE: *Preattentive Processing in Vision*. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 31:156–177, 1985.
- [76] VARINI, CLAUDIO: *Visual Exploration of Multivariate Data in Breast Cancer by Dimensional Reduction*. PhD thesis, Universität Bielfeld, Technische Fakultät(Bereich Informatik), 2006.
- [77] WARE, C.: *Color sequences for univariate maps: Theory, experiments and principles*. IEEE Computer Graphics & Applications, 8(5):41–49, 1988.

- [78] WARE, C. and W. KNIGHT: *Using visual texture for information display*. ACM Transactions on Graphics, 14(1):3–20, 1995.
- [79] WARE, COLIN: *Information Visualization: Perception for Design*. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 2000.
- [80] WEIGLE, CHRIS, WILLIAM EMIGH, GENIVA LIU, and ET AL.: *Oriented Sliver Textures: A Technique for Local Value Estimation of Multiple Scalar Fields*. Proc. Graphics Interface, pages 163–170, 2000.
- [81] WELLS, W., P. VIOLA, H. ATSUMI, S. NAKAJIMA, and R. KIKINIS: *Multimodal volume registration by maximization of mutual information*. Medical Image Analysis, 1(1):35–51, 1996.
- [82] WERNECKE, JOSIE: *The Inventor Mentor: Programming Object-Oriented 3D Graphics with Open Inventor, Release 2*. Addison-Wesley Publishing Group, 1994.
- [83] WINTERMARK, MAX, MUSA SESAY, EMMANUEL BARBIER, KATALIN BORBÉLY, WILLIAM P. DILLON, and ET AL.: *Comparative Overview of Brain Perfusion Imaging Techniques*. Stroke, 36(83), 2005.
- [84] WINTERSPERGER, B. J., H. V. PENZKOFER, A. KNEZ, A. HUBER, M. KERNER, M. MEININGER, P. KNESEWITSCH, J. SCHEIDLER, R. HABERL, and M. REISER: *Myocardial perfusion at rest and during stress. MR signal characteristics of persistent and reversible myocardial ischemia*. Radiologe, 40(2):155–161, Feb 2000.
- [85] ZANTIS, OLIVER: *Bedeutung der Neoangiogenese für die Prognose des Prostatakarzinoms*. PhD thesis, Technische Hochschule Aachen, Medizinische Fakultät, 2002.