

# **LEISTUNGSANALYSE EINES OPTISCHEN 3D/6D LOKALISIERSYSTEMS UND DESSEN INTEGRATION IN EIN CHIRURGISCHES ASSISTENZSYSTEM**

**Vom Fachbereich Elektrotechnik und Informatik der  
Universität Siegen**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der Ingenieurwissenschaften  
(Dr.-Ing.)**

genehmigte Dissertation von

**Dipl.-Ing. Sebastian Pieck**

1. Gutachter: Universitätsprofessor Dr.-Ing. Hubert Roth
2. Gutachter: Universitätsprofessor Dr. rer. nat. Roland Wismüller

Tag der mündlichen Prüfung: 17. November 2006



# **ZESS-Forschungsberichte**

Nr. 24

**Sebastian Pieck**

## **Leistungsanalyse eines optischen 3D/6D Lokalisiersystems und dessen Integration in ein chirurgisches Assistenzsystem**

Universität Siegen  
Zentrum für Sensorsysteme  
Paul-Bonatz-Straße 9-11  
57068 Siegen  
Tel.: 0271 / 740-3323  
Fax: 0271 / 740-2336  
e-mail: [gs@zess.uni-siegen.de](mailto:gs@zess.uni-siegen.de)  
Internet: <http://www.zess.uni-siegen.de/>

Siegen 2007

**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.: Siegen, Univ., Diss., 2006

Copyright Shaker Verlag 2007

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-5809-2

ISSN 1433-156X

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)

„We are stuck with technology  
when what we really want  
is just stuff that works.“

Douglas Noël Adams,  
britischer Autor 1952 - 2001



## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand am Institut für Regelungs- und Steuerungstechnik an der Universität Siegen innerhalb eines medizintechnischen Forschungsprojektes im Zentrum für Sensorsysteme (ZESS). Das Gesamtprojekt beschäftigt sich mit der Entwicklung eines neuartigen chirurgischen Assistenzsystems. Neuartig an diesem Konzept ist, dass erstmalig Planung, Navigation und Roboter in einem Komplettsystem integriert sind. Durch diesen Ansatz wird der Operateur bei chirurgischen Eingriffen von der präoperativen Planung bis zur intraoperativen Umsetzung ohne Systemwechsel therapiebegleitend unterstützt.

An dieser Stelle sage ich allen Personen Danke, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Hubert Roth für die wissenschaftliche Betreuung und die kritische Durchsicht dieser Arbeit sowie Herrn Prof. Dr. rer. nat. Roland Wismüller für das Übernahme des Korreferates. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Andreas Kolb bedanke ich mich für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission und die Durchführung des Promotionsverfahrens.

Besonderer Dank gilt auch Herrn Dr.-Ing. Jürgen Wahrburg für die Leitung des Gesamtprojektes, den Freiraum bei der Ausgestaltung meines Arbeitsbereiches, die Durchsicht der Arbeit und die Sicherstellung der Projektfinanzierung.

Meinen Kollegen Herrn Dr.-Ing. Ingo Groß, Herrn Peter Knappe und Señor Raúl Armando Castillo Cruces danke ich für die gute Zusammenarbeit, die vielen interessanten Diskussionen und die gegebenen Hilfestellungen. Auch den an diesem Projekt beteiligten Studenten, die zur Lösung und Umsetzung vieler Detailprobleme beigetragen habe, sei hier gedankt.

Ein herzliches „Danke schön“ geht auch an die Mitarbeiter der Arbeitsgruppe für Fertigungsverfahren und Fertigungsmeßtechnik: im Besonderen an Karin Schneider, Matthias Bommel und Wolfgang Bürger, die mir den Zugang zu Ihrer Koordinatenmessmaschine ermöglicht und mir mit permanenten technischen Support zur Seite gestanden haben.

Bei Andrea und Astrid möchte ich mich für die gewissenhafte grammatikalische Durchsicht dieser Arbeit bedanken. Darüber hinaus gilt mein besonderer Dank meinen Eltern für Ihre Unterstützung während meiner Ausbildung und Astrid für Ihre Geduld bei meiner Arbeit.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>xii</b>
<b>Abstract</b>	<b>xix</b>
<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>1 Medizinischer Hintergrund</b>	<b>4</b>
1.1 Computerbasierte intraoperative Assistenz . . . . .	4
1.2 Anwendungsfall Hüftgelenktotalsatz . . . . .	5
1.2.1 Krankheitsbild . . . . .	5
1.2.2 Komponenten eines Hüftgelenktotalsatzes . . . . .	7
1.2.3 Vorteile Minimal-Invasiver Eingriffe . . . . .	9
1.2.4 Präoperative Planung . . . . .	9
1.2.5 Intraoperatives Vorgehen . . . . .	11
1.2.6 Postoperative Kontrolle . . . . .	11
<b>2 Computergestützte Chirurgie</b>	<b>13</b>
2.1 Bildgebung und Planung . . . . .	13
2.2 Chirurgische Navigationssysteme . . . . .	14
2.2.1 Die relevanten Koordinatensysteme . . . . .	15
2.2.2 Systemkomponenten und -aufbau . . . . .	16
2.2.3 Die Phase „Intraoperative Patientenregistrierung“ . . . . .	16
2.2.4 Die Phase „Intraoperative Instrumentennavigation“ . . . . .	18
2.2.5 Kommerziell verfügbare Systeme . . . . .	19
2.2.6 Vorteile chirurgischer Navigationssysteme . . . . .	21
2.2.7 Nachteile chirurgischer Navigationssysteme . . . . .	21
2.3 Chirurgische Robotersysteme . . . . .	22
2.3.1 Systemkomponenten und -aufbau . . . . .	22
2.3.2 Verfügbare Systeme . . . . .	23
2.3.3 Vorteile chirurgischer Robotersysteme . . . . .	24
2.3.4 Nachteile chirurgischer Robotersysteme . . . . .	25

2.4	Das mechatronische Assistenzsystem „modiCAS“ . . . . .	25
2.4.1	Designziele für das mechatronische Assistenzsystem . . . . .	26
2.4.2	Operationsablauf bei Assistenzsystemunterstützung . . . . .	28
2.5	Zielsetzung der eigenen Arbeit . . . . .	29
2.6	Verwendete Nomenklatur . . . . .	31
<b>3</b>	<b>Anforderungsanalyse</b>	<b>32</b>
3.1	Messtechnische Anforderungen an ein 3D/6D Lokalisiersystem . . . . .	32
3.1.1	Menge der zu erfassenden relevanten Koordinatensysteme . . . . .	32
3.1.2	Nutzbare Messvolumen . . . . .	34
3.1.3	Größe und Handhabbarkeit des Messsystems . . . . .	35
3.1.4	Genauigkeitsanforderungen . . . . .	35
3.2	Funktionale Anforderungen an die Softwarekomponente: . . . . .	44
3.2.1	Modularität der modiCAS-Softwarearchitektur . . . . .	45
3.2.2	Benutzerfreundlichkeit . . . . .	46
3.2.3	Erfassung von Patientenbewegungen . . . . .	46
3.2.4	Universalität bezüglich der medizinischen Applikationen . . . . .	47
3.2.5	Problemlose Erweiterbarkeit . . . . .	47
3.2.6	Funktionsumfang „Intraoperative Navigation“ . . . . .	47
3.2.7	Unabhängigkeit vom verwendeten Lokalisiersystem . . . . .	47
3.2.8	Einhaltung der Sterilitätsgrenze . . . . .	48
3.2.9	Ausfallsicherheit . . . . .	48
3.2.10	Zeitverhalten . . . . .	48
<b>4</b>	<b>Auswahl eines 3D/6D Lokalisiersystems</b>	<b>49</b>
4.1	3D/6D Lokalisiersystemtechnologien . . . . .	50
4.1.1	Elektro-Mechanisches Messsystem . . . . .	50
4.1.2	Elektro-Akustisches Messsystem . . . . .	51
4.1.3	Elektro-Magnetisches Messsystem . . . . .	51
4.1.4	Elektro-Optisches Messsystem . . . . .	52
4.2	Vergleich der verschiedenen Lokalisiersystemtechnologien . . . . .	53
4.3	Das ausgewählte elektro-optische Lokalisiersystem NDI Polaris . . . . .	56
<b>5</b>	<b>Leistungsanalyse des NDI Polaris Lokalisiersystems</b>	<b>59</b>
5.1	Mögliche Ursachen für Messfehler . . . . .	59
5.2	Statische Messgenauigkeit . . . . .	61
5.2.1	Theoretische Betrachtung der Fehlertypen . . . . .	63
5.2.2	Basisexperiment zur Bestimmung der statischen Genauigkeit . . . . .	65
5.2.3	Referenzgebergröße, Markeranzahl und Lage des Raumpunktes . . . . .	67
5.2.4	Qualität der passiven Referenzgebermarker . . . . .	73
5.2.5	Partielle Verdeckung der Referenzgebermarker . . . . .	75

5.2.6	Evaluierung der Temperatur - Drift . . . . .	79
5.2.7	Lichtreflexionen innerhalb des Messvolumens . . . . .	80
5.3	Dynamische Messgenauigkeit . . . . .	83
5.3.1	Zeitverhalten des Polaris-Systems . . . . .	83
5.3.2	Kamerabewegung . . . . .	90
5.4	Ermittelte Systemeigenschaften des Polaris-Systems . . . . .	94
<b>6</b>	<b>Konzeption der Navigationskomponente</b>	<b>98</b>
6.1	Die zentralen Recheneinheit mit Visualisierungs- und Prozessrechner . . . . .	99
6.1.1	Systembeschreibung des Visualisierungsrechners . . . . .	102
6.1.2	Systembeschreibung des Prozessrechners . . . . .	103
6.1.3	Systembeschreibung der Integration der Rechner . . . . .	106
6.2	Resultierende Softwaremodule . . . . .	107
<b>7</b>	<b>Realisierung der Softwaremodule der Navigationskomponente</b>	<b>109</b>
7.1	Methodik des Entwicklungsprozesses . . . . .	110
7.2	Realisierung des Softwaremoduls „Lokalisiersystem-Service“ . . . . .	110
7.2.1	Generische Anwendungsfälle des Lokalisiersystem-Service . . . . .	110
7.2.2	Die definierten Abstraktionsschichten . . . . .	112
7.2.3	Erstelltes Softwaremodul . . . . .	121
7.2.4	Zeitverhalten des Lokalisiersystem-Service . . . . .	122
7.3	Realisierung des Softwaremoduls „Patientenregistrierung“ . . . . .	126
7.3.1	Generische Anwendungsfälle der Patientenregistrierung . . . . .	126
7.3.2	Erstelltes Softwaremodul . . . . .	130
7.4	Realisierung des Softwaremoduls „Instrumentennavigation“ . . . . .	134
7.4.1	Generische Anwendungsfälle der Instrumentennavigation . . . . .	134
7.4.2	Erstelltes Softwaremodul . . . . .	138
<b>8</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>142</b>
8.1	Lokalisiersystem der Navigationskomponente . . . . .	142
8.2	Software der Navigationskomponente . . . . .	145
8.3	Gesamtsystem Navigationskomponente . . . . .	145
<b>9</b>	<b>Ausblick</b>	<b>147</b>
9.1	Erweiterung um weitere Patientenregistrierungsmethoden . . . . .	147
9.2	Einsatz alternativer Lokalisiersysteme . . . . .	148
9.3	Kombination von Lokalisiersystemtechnologien . . . . .	148
9.4	Telemedizin . . . . .	149
9.5	Erstellen von Prozessmodellen für chirurgische Eingriffe . . . . .	149
	<b>Zusammenfassung</b>	<b>150</b>

<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>151</b>
<b>A Mathematische Grundlagen</b>	<b>168</b>
A.1 Darstellung der Position eines Körpers	168
A.2 Darstellungen der Orientierung eines Körpers	169
A.2.1 Rotationsmatrizen	169
A.2.2 Quaternionen	171
A.3 Pose	174
A.4 Transformationsmatrix	175
A.5 Spezielle Matrizenrechnung	177
A.5.1 Orthonormale Matrix	177
A.5.2 Singulärwertzerlegung	177
A.5.3 Diagonalmatrix	177
A.5.4 Spur einer Matrix	178
<b>B Funktionsweisen von 3D/6D Lokalisiersystemen</b>	<b>179</b>
B.1 Funktionsweise der elektro-mechanischen Technologie	179
B.2 Funktionsweise der elektro-akustischen Technologie	181
B.3 Funktionsweise der elektro-magnetischen Technologie	183
B.3.1 AC-Typ	183
B.3.2 DC-Typ	184
B.4 Funktionsweise der elektro-optischen Technologie	185
B.4.1 Positionsbestimmung eines Punktes	188
B.4.2 Positionsbestimmung eines Referenzgebers	191
B.4.3 Zeilenkameras vs. Flächenkameras	194
<b>C Softwaretechnik</b>	<b>199</b>
C.1 Entwicklungsprozess	199
C.1.1 Das Wasserfallmodell	199
C.1.2 Das evolutionäre Modell	200
C.2 Begriffsdefinition von „Echtzeit“	201
C.2.1 Ereignis vs. Zeitsteuerung	202
C.2.2 Harte- vs. Weiche-Echtzeitanforderungen	203
<b>D Softwarekomponenten</b>	<b>205</b>
D.1 Echtzeitbetriebssysteme	205
D.1.1 Red Hat Embedded Linux Developer Suite	206
D.1.2 VxWorks AE 1.1	207
D.1.3 Windows CE .NET	208
D.1.4 QNX NEUTRINO RTOS V6.2.0	208
D.2 CORBA - Common Object Request Broker Architecture	211
D.2.1 CORBA-Services	212

D.3	Verwendete SW-Bibliotheken . . . . .	217
D.3.1	VTK . . . . .	217
D.3.2	Qt . . . . .	217
D.3.3	ACE / TAO . . . . .	218
<b>E</b>	<b>Registrierungsalgorithmen</b>	<b>220</b>
E.1	Paired-Point Algorithmus . . . . .	222
E.2	Iterative-Closest-Point Algorithmus . . . . .	224
<b>F</b>	<b>Verwendete Referenzgeber</b>	<b>227</b>
<b>G</b>	<b>Messprotokolle und Messergebnisse</b>	<b>232</b>
G.1	Messergebnisse der Systemanalyse des 3D Positionsmesssystems . . . . .	232
G.1.1	Ergebnisse Basisexperiment statische Messgenauigkeit . . . . .	232
G.1.2	Messung des Zeitverhaltens des Polaris-Systems . . . . .	240
G.1.3	Messung der Positionsdrift bei Bewegung der Polaris-Kamera . . . . .	243
G.2	Messergebnisse Datenübertragungsdauer innerhalb der Systemarchitektur . . . . .	252

# Abkürzungsverzeichnis

- 3D/6D..... Die gleichzeitige Erfassung von Translation und Orientierung, wodurch alle sechs Freiheitsgrade zur Beschreibung der Pose eines Körpers ermittelt werden.
- ACE..... **A**daptive **C**omputing **E**nvironment Eine Bibliothek, die die Betriebssystemfunktionalität abstrahiert. Auf ACE basierende Applikationen können auf allen Plattformen ohne Änderungen im Quellcode eingesetzt werden, solange sie sich ausschließlich auf ACE abstützen [120].
- ACR-NEMA . **A**merican **C**ollege of **R**adiology - **N**ational **E**lectrical **M**anufacturers **A**ssociation Bezeichnet einen Standard zur Aufzeichnung von digitalen medizinischen Bilddaten (veraltet)
- APP..... anterior pelvic plane Die vordere Beckeneingangsebene.
- AR..... **A**ugmented **R**eality Die „Erweiterte Realität“, durch Hilfsmittel wie Shutterbrille oder semi-transparentes Display werden dem Nutzer zusätzliche Informationen zu seiner momentanen Umgebung eingespielt.
- CAS..... **C**omputer **A**ssisted **S**urgery Operateuren wird während chirurgischen Eingriffen durch Computereinsatz assistiert. Die Bandbreite reicht von der Unterstützung bei der Operationsplanung bis zur Unterstützung bei der eigentlichen Ausführung.
- CMM..... **C**oordinate **M**easuring **M**achine Die Koordinatenmessmaschine.

- CORBA ..... **Common Object Request Broker Architecture** Die Common Object Request Broker Architecture ist eine objektorientierte Middleware, die plattformübergreifende Protokolle und Dienste definiert und von der OMG (**O**bject **M**anagement **G**roup) entwickelt wird. CORBA vereinfacht das Erstellen verteilter Anwendungen in heterogenen Umgebungen [96].
- CT ..... **Computer - Tomographie** 3D-Bildgebendes Verfahren, mittels eines CT werden durch Röntgenstrahlen einzelne Schichtbilder erzeugt, die einen Dichtewert als Grauwert für jede Position (siehe auch Voxel) im Körper liefert.
- DICOM ..... **Digital Imaging and Communications in Medicine** Bezeichnet einen Standard zur Aufzeichnung von digitalen medizinischen Bilddaten
- DTD ..... **Document Type Definition** Die DTD ist die Grammatik eines XML Dokuments. Sie beschreibt die Abhängigkeiten der einzelnen XML-Tags zueinander.
- EOLS ..... **Elektro Optisches LokalisierSystem** Ein videobasiertes Messgerät, das Position und Orientierung von mehreren geeigneten Referenzgebern im Raum ermitteln kann.
- FIFO ..... **First-In First-Out** Die Elemente, die zuerst in eine Queue hineingeschrieben werden, werden auch als erste wieder heraus gelesen. Gegenteil des FIFO-Prinzips ist das Last-In First-Out Prinzip, das durch einen Stack realisiert werden kann.
- GIOP ..... **Genaral Inter ORB Protocol** GIOP bezeichnet ein abstraktes Protokoll zur Kommunikation von ORB (**O**bject **R**quest **B**roker)s im Bereich des Verteilten Rechnens.
- GUI ..... **Graphical User Interface** Die grafische Benutzerschnittstelle eines Programmes, die vom Anwender zur Dateneingabe oder Datenmanipulation genutzt werden kann.

- HNO..... **Hals-Nase-Ohren**
- IIOB..... **I**nternet **I**nter **O**RB **P**rotocol IIOB ist eine Spezialisierung des abstrakten GIOP (**G**eneral **I**nter **O**RB **P**rotocol) für die Kommunikation über TCP/IP.
- KS..... **Koordinatensystem** Ein Koordinatensystem ist eine Darstellungsform, mit der eine Position innerhalb eines Raumes eindeutig beschrieben werden kann.
- MAS..... **mechatronisches Assistenzsystem** Erweiterung eines chirurg. Navigationssystems um eine aktive mechatronische Komponente zur intraoperativen Positionierung und Ausrichtung chirurg. Instrumente.
- MLF..... **Marker Lokalisierungsfehler** Der Fehler, der bei der Positionsmessung eines Markers durch das elektro-optische Digitalisiersystem verursacht wird.
- MODICAS..... **modular interactive Computer Assisted Surgery** Ein mechatronisches Chirugiassistenzsystem, konzipiert nach den Designrichtlinien modular, interaktiv und universell, um den Chirurgen von der Operationsplanung über den operativen Eingriff bis zur Patientennachsorge zu unterstützen.
- MPR..... **multiplanare Rekonstruktion** Die gleichzeitige Darstellung eines dreidimensionalen Körpers in verschiedenen Ansichten aus verschiedenen Perspektiven
- MRE..... **Maximum Residual Error** Der maximal aufgetretene Fehler
- MRF..... **Marker Registrierungsfehler** Der Fehler, der bei dem Registrierungsprozess der gemessenen Positionen eines Markers gegen die Markerposition innerhalb des hinterlegten geometrische Modell durch ein Digitalisiersystem verursacht wird.

- MRT ..... **M**agnet - **R**esonanz - **T**omographie 3D-Bildgebendes Verfahren, beruht auf dem Prinzip der Kernspinresonanz von Wasserstoffprotonen und wird daher auch als Kernspin-Tomographie bezeichnet.
- OMG ..... **O**bject **M**anagement **G**roup Die Object Management Group (OMG) ist ein 1989 gegründetes Konsortium, das sich mit der Entwicklung von Standards für die herstellerunabhängige systemübergreifende Objektorientierte Programmierung beschäftigt. Der OMG gehörten bei Gründung 11 Firmen, darunter IBM, Apple und Sun an, mittlerweile über 800 Mitglieder. Die geschaffenen Standards sind international anerkannt. Die bekanntesten Entwicklungen der OMG sind CORBA, die das Erstellen von Verteilten Anwendungen in heterogenen Umgebungen vereinfacht, sowie die Unified Modeling Language (UML), die die Modellierung und Dokumentation von Objektorientierten Systemen in einer normierten Syntax erlaubt [96].
- OPENGL ..... **O**pen **G**raphics **L**ibrary OpenGL ist eine Spezifikation für ein plattform- und programmiersprachenunabhängiges API (Application Programming Interface) zur Entwicklung von 3D-Computergrafik. Der OpenGL-Standard beschreibt etwa 250 Befehle, die die Darstellung komplexer 3D-Szenen in Echtzeit erlauben. Hersteller können jedoch auch eigene Erweiterungen definieren [97].
- ORB ..... **O**bject **R**equest **B**roker Die Softwareschicht innerhalb von CORBA (Common Object Request Broker Architecture), die die Auflösung der Objekt-Referenzen durchführt.
- PACS ..... **P**icture **A**rchiving and **C**ontribution **S**ystem medizinisches Bildverteilungs - System (meist krankenhausweit)
- POSIX ..... **P**ortable **O**perating **S**ystem **I**nterface for **U**ni**X** Eine standardisierte Schnittstelle, die auf allen UNIX-basierten Betriebssystemen implementiert ist. Verschiedene Ausbaustufen liefern Erweiterungen nach, bspw. Funktionen für Echtzeitsysteme.

- PRF ..... **Punkt Registrierungsfehler** Der Fehler zwischen bekannten Raumpunkt (bspw. des TCPs des getrackten Instrumentes) und der durch ein Digitalisiersystem gemessenen Position des identischen Raumpunktes.
- RANSAC..... **Random Sample Consensus** RANSAC beschreibt einen Algorithmus um "... eine geometrische Transformation zwischen zwei 2D oder 3D Punktmengen zu finden. Dies wird erreicht indem drei oder vier korrespondierende Punkte ausgewählt werden um die Transformation zu berechnen. Alle anderen Punkte werden auf den damit gemachten Fehler untersucht und ein Konsensset von Punkten mit kleinem Fehler bestimmt. Dieser Vorgang wird beliebig oft wiederholt. Die Transformation mit dem größten Konsensset gewinnt.“[111]
- RMS..... **normalized Root-Mean-Square** Die Standardabweichung
- RPC..... **Remote Procedure Call** Der Aufruf einer Prozedur, deren Implementierung auf einem anderen Rechner zu finden ist.
- RTOS..... **Real-Time Operating System**
- SMP ..... **Symmetrisches Multi-Prozessorsystem** Ein Verbund von gleichberechtigten CPUs, auf denen ein gemeinsames Betriebssystem ausgeführt wird.
- SVDC ..... **Singulärwertzerlegung** engl. **singular value decomposition**, Die Zerlegung einer Matrix in zwei orthonormale Matrizen (siehe A.5.1) und eine Diagonalmatrix (siehe A.5.3).
- TAO..... **The Ace ORB** Eine auf ACE (**Adaptive Computing Environment**) basierende CORBA-Implementierung [119].
- TCP ..... **Tool Center Point** Der Tool Center Point beinhaltet das Zentrum des Koordinatensystems (0,0,0) des Werkzeuges. Er dient als Bezugspunkt bei der Positionsangabe des Instrumentes.
- TIU..... **Tool Interface Unit** Eine Komponente des aktiven bzw. hybriden Polaris-Systems, an dem aktive Referenzgeber angeschlossen werden.

- UTG..... **U**nique **T**ool **G**eometry Designrichtlinie für Referenzgeber optischer Digitalisiersysteme, mit denen eine eindeutige Zuordnung von Referenzgebermarkern zu Ihren Referenzgebern (bei gleichzeitigem Aufleuchten aller Referenzgebermarker einer Technologie) möglich ist.
- XML..... **E**xtensible **M**arkup **L**anguage XML ist ein Standard zur Erstellung maschinen- und menschenlesbarer Dokumente in Form einer Baumstruktur. XML definiert dabei die Regeln für den Aufbau solcher Dokumente. Für einen konkreten Anwendungsfall („XML-Anwendung“) müssen die Details der jeweiligen Dokumente durch eine DTD (**D**ocument **T**ype **D**efinition) spezifiziert werden.

# medizinische Begriffe

**Abdominal** lat., den Bauchraum, den Unterleib betreffend

**Acetabulum** Die Hüftpfanne, Widerlager des Femurkopfes

**Cranio-Maxillofacial** Eingriffe in der Kiefer- und Gesichtschirurgie.

**Femur** Der Oberschenkelknochen, oberes Ende ist der Femurkopf im Hüftgelenk, unteres Ende ist das Kniegelenk

**Fiducial** engl., „treuhänderisch“, ein Fiducial ist ein Vertrauenspunkt, der einfach wiedererkannt werden kann. Unterschieden wird zwischen künstlichen Fiducials (sog. Markern) und anatomischen Fiducials (anatomische Landmarken).

**Indikation** lat., „Heilanzeige“, zwingender Grund zur Anwendung einer bestimmten ärztl. Behandlung in einem Krankheitsfall (aus [20]).

**Inzision** Der Hautschnitt bei chirurg. Eingriffen.

**Palpation** von lat. „palpare“ („streichen“, „klopfen“), med. „die Abtastung“.

**Retraktor** Ein chirurgisches Instrument zum Aufhalten der Inzision.

**Spina iliaca anterior superior** Die vorderen oberen Beckenfortsätze, dicht unter der Haut liegend. Synonym für „vorderer oberer Darmbeinstachel“.

**Symphisys publia** Die Schambeinfuge

**Therapie** grch., „alle der Beseitigung oder Linderung von Gesundheitsstörungen und Krankheitszuständen dienenden medizinischen Maßnahmen“ (aus [20]).

## Abstract

In complicated surgical operations, like in spinal-, hip- or neurosurgery, before starting the intervention, surgeons require precise knowledge of the individual patients' structure. Within image-data, gained from modern medical imaging techniques (e.g. CT or MRT), the needed information of the concerning structure can be acquired and thus the intervention can be planned. To transfer the preoperative planning onto the patient, surgical navigation systems, founded by the usage of stereotactic rings, have been developed. Modern surgical navigation systems are mostly computer based and equipped with a spatial localizer. These systems guide the surgeons by visualizing the manually used surgical instruments within the preoperatively taken image-data on a computer monitor. But even if these systems guide the surgeons precisely to the important patient structures, they do not avoid trembling or slipping of the surgical instruments, as these are hand-guided.

Surgical robot systems avoid these mentioned drawbacks by automatically, very precise instrument-guiding. However orthopaedic robots in clinical use, are complex to handle by the surgeon and need a rigid patient fixation, as the robots can not compensate patient movements.

Within a new system approach, the project name is „MODICAS“ (**mod**ular **inter**active **Computer Assisted Surgery**), the advantages of surgical navigation systems and surgical robot system should be united. The distinctive feature of this system-approach is the highly integrative combination of a conventional surgical navigation system and an interactive surgical robot arm. By this combination, the system has the ability to recognize patient movements and to compensate them by robot-tracking. This ends up in a permanently optimal positioning of the surgical instruments corresponding to the relevant patient structure as planned preoperatively.

The objective of the work presented here is the design and implementation of the navigational component for the MODICAS-system. A unique requirement to this navigational component is its real-time behaviour to provide spatial-measurement data to the robot's closed position control loop. To fulfil this real-time requirement a commercially available system is selected and its capabilities (especially its dynamic performance capabilities) for the usage within the closed control loop are examined. Furthermore a heterogeneous distributed system platform is designed to decouple the visualisation component from the real-time capable control-component.