

Modellbasierte Operationsplanung in der Orthopädischen Chirurgie

Von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
Ingenieurwissenschaften genehmigten Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur Frank Heinrich Portheine
aus Nordhorn / Grafschaft Bentheim

Berichter: Universitätsprofessor Dr. rer. nat. Günter Rau
Universitätsprofessor Dr.-Ing. Karl-Friedrich Kraiss

Tag der mündlichen Prüfung: 22.04.2004

Frank Portheine

**Modellbasierte Operationsplanung in
der Orthopädischen Chirurgie**



Helmholtz-Institut
für Biomedizinische Technik
an der RWTH Aachen

Shaker Verlag
D 82 (Diss. RWTH Aachen)

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2004

Copyright Shaker Verlag 2004

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-2951-5

ISSN 1430-7316

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Biomedizinische Technologien der RWTH Aachen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr. rer. nat. G. Rau, dem Direktor des Institutes für Biomedizinische Technologien, für die Unterstützung und Förderung meiner Arbeit.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. K.-F. Kraiss, dem Direktor des Lehrstuhles für Technische Informatik, danke ich für das Interesse an meiner Arbeit und für die Übernahme des Koreferats.

Herrn Dr.-Ing. K. Radermacher, dem Leiter der Arbeitsgruppe Chirurgische Therapietechnik, möchte ich für seine zahlreichen Anregungen, seine stets vorhandene Diskussionsbereitschaft und für die Durchsicht des Manuskriptes bedanken.

Für die konstruktive Zusammenarbeit und die zahlreichen Diskussionen möchte ich mich bei den Herren PD Dr. med. Wirtz, CA Dr. med. Spithaler und Dr. med. Ohn-sorge bedanken. Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. H.-W. Staudte und Herrn Dr. G. Kaspers für die Unterstützung bei der Planung und Durchführung der klinischen Studien.

Mein Dank gilt auch den wissenschaftlichen und studentischen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Chirurgische Therapietechnik die alle auf ihre Weise mit zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ich danke Herrn D. Faßbänder und dem gesamten Team der mechanischen Werkstatt sowie Herrn W. Korr und Herrn E. Waber für die Unterstützung bei Graphik- und Fotoarbeiten. Außerdem bedanke ich mich bei dem gesamten Kollegium des Institutes für Biomedizinische Technologien für die offene Arbeitsatmosphäre und die stets konstruktive Zusammenarbeit.

Schließlich möchte ich meiner ganzen Familie, insbesondere meiner Frau Silke und meinen Kindern Yannick und Annina für ihr Verständnis und ihre Unterstützung danken, wodurch erst die vorliegende Arbeit ermöglicht wurde.

Inhaltsverzeichnis

1 ...Einleitung.....	1
2...Problemstellung und Lösungsansatz.....	4
2.1 Stand der computerunterstützten Operationsplanung	4
2.1.1 Ursprung der computerassistierten Chirurgie.....	6
2.1.2 Grundsätzlicher Aufbau von CAS-Systemen.....	6
2.1.3 Präoperative Bildgebung	7
2.1.4 Computerbasiertes Planungssystem.....	8
2.1.5 Intraoperative Unterstützungssysteme	11
2.2 Problemidentifikation	15
2.2.1 Weichteilbalancing	16
2.2.2 Beurteilung der Knochenqualität	17
2.2.3 Bestimmung operationsspezifischer Parameter	18
2.2.4 Simulationsmöglichkeiten	18
2.2.5 Veränderungen des OP-Ablaufs durch intraoperative Unterstützungssysteme	21
2.3 Lösungsansatz für ein modellbasiertes Planungssystem	21
2.3.1 Planungsmodell.....	22
2.3.2 Aufbau von Datenbasen.....	23
2.3.3 Wissensverarbeitung.....	26
2.3.4 Präoperative Bildgebung	26
2.3.5 Intraoperatives Unterstützungssystem	29
3...Elemente der Bildakquisition und –verarbeitung	31
3.1 Röntgen-Computertomographie	31
3.2 Digitale Bildverarbeitung.....	34
3.2.1 Datenübertragung und Konvertierung	34
3.2.2 Fensterung und Filterung	36
3.2.3 Segmentierung.....	37
3.2.4 3D-Rekonstruktion.....	41
3.2.5 Visualisierung	44
3.3 Verfahren der Weichteilgewebsmodellierung.....	47
3.3.1 Geometrische Modellierung	47
3.3.2 Physikalische Modellierung	48

4...Konzeption modellbasierter Planungssysteme zur	
 Multiparameteroptimierung	54
4.1 Basiselemente Wissensbasierter Systeme	54
4.1.1 Wissensakquisition	58
4.1.2 Wissensbasis	59
4.1.3 Inferenzmaschine	60
4.2 Architektur eines modellbasierten Planungssystems	60
4.3 Gestaltung des Planungsmodells	61
4.3.1 Elemente des Planungsmodells	61
4.3.2 Planungs- und generische Einheiten	63
4.4 Aufbau von operationsspezifischen Datenbasen	65
4.4.1 Prothesen- und andere geometrische Planungsdaten	66
4.4.2 Modellierung von Weichteilgewebsstrukturen	68
4.4.3 Operationsmodell	69
4.5 Wissensverarbeitung	72
4.6 Gestaltung der Benutzerschnittstellen	74
4.7 Konsequenzen in der medizinischen Anwendung	77
4.7.1 Präoperative Planung	77
4.7.2 Intraoperatives Vorgehen	79
4.7.3 Finanzieller Aufwand	79
5...Entwicklung eines Planungssystems für die Knieendoprothetik	81
5.1 Konventioneller Gelenkflächenersatz	81
5.1.1 Präoperative Planung	83
5.1.2 Intraoperative Vorgehensweise	84
5.1.3 Klinische Resultate	86
5.2 Aufbau des Planungsmodells	87
5.2.1 Anforderungen an das modellbasierte Planungssystem	87
5.2.2 Bestimmung der vorliegenden biomechanischen Verhältnisse	89
5.2.3 Definition der durchzuführenden Knochenmanipulationen	93
5.2.4 Definition und Herstellung der Individualschablonen	95
5.3 Aufbau der Wissensbasen	97
5.3.1 Operationsmodell	97
5.3.2 Weichteilgewebsmodell	101
5.3.3 Prothesendaten	110
5.4 Benutzerschnittstelle	112
5.5 Laboruntersuchungen und vorklinische Erfahrungen	115

5.5.1 Laborversuche mit angepasstem Instrumentarium.....	115
5.5.2 Anatomieversuche.....	118
6...Diskussion und Ausblick	123
7...Zusammenfassung	129
8...Literatur.....	131
9...Anhang.....	145
9.1 Kommerzielle Navigationssysteme und ihre Einsatzbereiche.....	145
9.2 Scan-Protokoll (bikondyläre Knieendoprothetik).....	146
9.3 Intraoperativer Erfassungsbogen (bikondyläre Knieendoprothetik)	148
9.4 Nomenklatur	150
9.5 Planungsmodell für die bikondyläre Knieendoprothetik	152
9.6 Mathematische Abhängigkeiten der Informationseinheiten.....	155
9.7 Versuchsprotokoll -Individualschablonen in der Knieendoprothetik-.....	162