

Inhaltverzeichnis

0 Begriffserklärung und Formelverzeichnis	vi
0.1 Hauptachsen	vi
0.2 Hauptebenen	vii
0.3 Richtungen im Raum	viii
0.4 Bewegungsrichtungen	viii
0.5 Allgemeine Bezeichnungen	ix
0.6 Wichtige Knochen der Extremitäten	xi
0.7 Mathematische Definitionen	xii
1 Einleitung	1
1.1 Einführung	1
1.2 Problemstellung	2
2 Stand der Technik	4
2.1 Computerunterstützte Planung chirurgischer Eingriffe	4
2.2 Therapiedurchführung unter Zuhilfenahme von passiven und aktiven Einrichtungen	5
2.2.1 Passive Einrichtungen (Navigations- und Positioniersysteme)	5
2.2.2 Aktive Einrichtungen (Handhabungsgeräte)	6
2.3 Korrelation und Lagebestimmung mit Bildverarbeitungsverfahren	7
2.4 Zusammenfassung Stand der Technik	7
3 Zielsetzung und Vorgehen	10
4 Analyse der Einsatzmöglichkeiten und Anforderungen an das System	12
4.1 Einsatzmöglichkeiten in der Orthopädie	13
4.2 Korrekturen am Hüftgelenk	16

4.2.1	Anatomische Achsen und Winkelgrößen der unteren Extremität	17
4.2.2	Korrekturmöglichkeiten der Hüfte	19
4.3	Weitere Korrekturmöglichkeiten an den Extremitäten	20
4.4	Zusammenfassung Analyse der Einsatzmöglichkeiten	22
4.5	Anforderungen an ein System zur computer- und roboterunterstützten Chirurgie	23
4.5.1	Voraussetzungen für die computer- und roboterunterstützte Chirurgie	23
4.5.2	Bildübernahme und Rekonstruktion	25
4.5.3	Computerunterstützte Operationsplanung	25
4.5.4	Roboterunterstützte Therapie	26
4.5.5	Benutzeroberfläche	27
5	Konzeption und Systementwurf	29
5.1	Grundkonzeption	29
5.1.1	3-D Darstellungsverfahren diagnostischer Bildinformation	29
5.1.2	3-D Simulationssystem	30
5.1.3	Passive und aktive Hilfseinrichtungen	33
5.1.4	Grundkonzept für die Korrelation	34
5.1.4.1	Darstellung des biologischen Objektes in einem korrelierbaren Bezugssystem	35
5.1.4.2	Nicht invasive Systeme	36
5.1.4.3	Invasive Systeme	38
5.2	Gesamtsystem zur computer- und roboterunterstützten Chirurgie	40
6	Teilsystem zur Rekonstruktion	43
6.1	Visualisierung von CT-Sequenzen	43
6.2	Bildauswertung für die Diagnose	45
6.3	Extraktion von Konturen	46

6.3.1	Segmentierung	49
6.3.2	Konturenextraktion	50
6.4	3-D Rekonstruktionssystem	52
7	Teilsystem zur Planung der Therapie und deren Durchführung	55
7.1	Analyse der herkömmlichen Operationsplanung	56
7.1.1	Planung einer intertrochanteren Osteotomie	58
7.1.2	Umsetzung der Planung in der Operation	59
7.1.3	Fehlerquellen bei der Planung und Umsetzung	61
7.2	Simulationssystem	62
7.2.1	Koordinatensysteme	62
7.2.2	Geometriebeschreibung	64
7.3	Abbildung physiologischer Parameter und Funktionalität	65
7.3.1	Allgemeines Schema	65
7.3.1.1	Isolierung von Teilbereichen	66
7.3.1.2	Berechnung der approximierenden Fläche	67
7.3.2	Modul zur Definition der Femurschaftachse	68
7.3.3	Modul zur Definition des Femurkopfmittelpunktes	69
7.3.4	Modul zur Definition der Femurhalsachse	72
7.3.5	Modul zur Definition der Kniegelenksachse	75
7.3.6	Abbildung der Physiologie	77
7.4	Veränderung der Gestalt anatomischer Objekte	78
7.5	Auswahl geeigneter Implantate	81
7.5.1	Modellierung der Implantate	81
7.5.2	Der Einpaßvorgang	83
7.5.2.1	Die Bewertung des Sitzes	87
7.5.2.2	Bohrungen und Schrauben	88
7.6	Auswahl und Einsatzplanung der chirurgischen Instrumente	89
7.6.1	LASER-Zeigerinstrument	91

7.6.2 Bohrer	92
7.6.3 Oszillierende Säge	92
8 Teilsystem zur Therapiedurchführung	94
8.1 Patientenlagerung	95
8.1.1 Fixierung	95
8.1.2 Ermittlung der optimalen Roboter-Patienten-Anordnung	96
8.2 Objektwiedererkennung und Korrelation	100
8.2.1 Voraussetzungen	100
8.2.2 Kamerakalibrierung	102
8.2.2.1 Fehlermöglichkeiten	102
8.2.2.2 Kameramodell	103
8.2.2.3 Lösungsmethoden und Ergebnisse	106
8.2.3 Objektlagebestimmung	108
8.3 Durchführung der Therapie	110
8.3.1 Roboterprogrammierung	111
8.3.2 Erstellung eines Roboterprogrammes	112
8.3.2.1 Übersetzung des Operationsplans	112
8.3.2.2 Bahnplanung	113
8.3.3 Positioniergenauigkeit des Handhabungsgerätes	117
8.3.3.1 Hintergrund	117
8.3.3.2 Genauigkeitskenngrößen	119
8.3.3.3 Fehlerkorrektur	122
8.3.4 Prozeßdurchführung	124
9 Realisierung und Erprobung	126
9.1 Systemintegration	127
9.1.1 Systemkommunikation zwischen den einzelnen Prozessen	127
9.1.2 DNC-Kommunikation	128

9.2	Systembeschreibung	130
9.2.1	Konzept der Benutzeroberfläche	131
9.2.2	Grauwertbildvisualisierung und 3D-Rekonstruktion	133
9.2.3	Modifizierung gefundener Konturen	134
9.2.4	Planung der Therapie und deren Durchführung	135
9.2.5	Änderung eines Operationsplanes	138
9.2.6	Lageerkennung und Korrelation	139
9.2.7	Roboterunterstützte Therapiedurchführung	140
9.3	Erprobung	142
9.3.1	Eignung für den klinischen Einsatz	142
9.3.2	Genauigkeit der Ausführung	143
10	Zusammenfassung und Ausblick	147
11	Literaturverzeichnis	151