

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Zielsetzung der Arbeit	1
1.2	Aufbau und Kapitelübersicht	2
<b>2</b>	<b>Klinische Indikation und Problemstellung</b>	<b>4</b>
2.1	Interventionelle Therapie der Wirbelsäule	4
2.2	Problemstellung aus medizinischer Sicht	7
2.3	Problemstellung aus technischer Sicht	9
<b>3</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>12</b>
3.1	Systeme für die intraoperative Bildgebung	12
3.1.1	Technische Grundlagen der Radiographie	13
3.1.2	Radiographiesysteme zum Erzeugen von Projektionsaufnahmen	15
3.1.3	Radiographiesysteme zum Erzeugen von Volumendaten	16
3.2	Verfahren für die Registrierung zur Zuordnung von Modell und Patient	19
3.2.1	<i>Paired Point Matching</i> -Verfahren	20
3.2.2	<i>Surface Matching</i> -Verfahren	21
3.2.3	<i>Contour Matching</i> -Verfahren	23
3.3	Assistenz- und Unterstützungssysteme für die Wirbelsäulen Chirurgie	23
3.3.1	Grundlagen sensorgestützter Assistenz- und Unterstützungssysteme	24
3.3.2	Navigationssysteme in der Wirbelsäulen Chirurgie	26
3.3.3	Robotersysteme in der Wirbelsäulen Chirurgie	28
3.3.4	Positioniersysteme für Patienten	31
3.3.5	Positioniersysteme für chirurgische Instrumente	33
3.4	Zusammenfassung der Nachteile existierender Systeme	34
3.5	Diskussion der ungelösten Probleme	36

<b>4</b>	<b>Ein Systementwurf für das leistungssteuernde, navigierte Fräsen</b> .....	<b>37</b>
4.1	Eigener Ansatz und Abgrenzung .....	37
4.1.1	Merkmale des Systementwurfes .....	37
4.1.2	Abgrenzung zu verwandten Problemstellungen .....	40
4.2	Klinischer Behandlungsablauf .....	42
4.2.1	Vorbereitung des OP-Einsatzes .....	44
4.2.2	Volumenbasierter Ablauf (3D) .....	44
4.2.3	Projektionsbildbasierter Ablauf (2½D) .....	46
4.3	Verwendete Notation .....	47
4.4	Realisierungskonzept .....	49
4.4.1	Statische Systembeschreibung .....	49
4.4.2	Dynamische Systembeschreibung .....	50
4.5	Beschreibung der Systemschnittstellen .....	52
4.5.1	Fixierungssystem für die Immobilisierung .....	52
4.5.2	Bildaufnahme und 3D-Rekonstruktion .....	53
4.5.3	Grafische dreidimensionale Modelle .....	58
4.5.4	Sensorik für die Positions- bzw. Lageerfassung von Objekten .....	60
4.5.5	Aktuatorik für die Leistungssteuerung von Instrumenten .....	61
4.6	Mathematische Abbildung der Behandlungssituation .....	63
<b>5</b>	<b>Realisierung des Systems für das leistungssteuernde Fräsen</b> .....	<b>64</b>
5.1	Systemarchitektur .....	64
5.2	Modellierung der Systemarchitektur .....	70
5.2.1	Autonome Beobachterarchitektur .....	71
5.2.2	Der Zustandsautomat .....	72
5.2.3	Priorisierte Zustandstabelle .....	75
5.3	Kalibrierung in dem Bildgebungsmodul .....	77
5.4	Arbeitsraumplanung in dem Planungsmodul .....	79
5.4.1	Arbeitsraumdefinition bei dem 2½D-Ansatz .....	79
5.4.2	Arbeitsraumdefinition bei dem 3D-Ansatz .....	80

5.5	Der Systemmodellierer.....	84
5.5.1	Kalibrierung von Instrumentengeometrien.....	84
5.5.2	Registrierung zur räumlichen Zuordnung von Modell und Patient.....	91
5.6	Leistungssteuerung in dem Ausführungsmodul.....	94
5.6.1	Arbeitsraumeinschränkung bei dem 2½D-Ansatz.....	94
5.6.2	Arbeitsraumeinschränkung bei dem 3D-Ansatz.....	95
5.7	Visualisierung in dem Ausführungsmodul.....	99
5.7.1	Kontinuierliche Darstellung des Fräsprozesses.....	99
5.7.2	Realistische Darstellung von Instrumenten in Bilddaten.....	104
5.7.3	Redundante Informationsdarstellung zur Fehlererkennung.....	107
5.8	Mensch-Maschine-Schnittstelle für das leistungssteuernde Fräsen.....	108
5.8.1	Mensch-Maschine-Schnittstelle für die Dekompression.....	108
5.8.2	Mensch-Maschine-Schnittstelle für die Egalisierung.....	109
<b>6</b>	<b>Experimente und Diskussion.....</b>	<b>111</b>
6.1	Experiment I: Untersuchung zur positionsabhängigen Leistungssteuerung.....	111
6.2	Experiment II: Genauigkeitsevaluierung zum 2½D-Ansatz.....	116
6.3	Experiment III: Genauigkeitsevaluierung zum 3D-Ansatz.....	119
6.4	Experiment IV: Fräsen am Human-Präparat zur Dekompression.....	123
6.5	Diskussion der Experimentergebnisse und Schlussfolgerung.....	126
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>127</b>
7.1	Zusammenfassung.....	127
7.2	Ausblick.....	128
<b>8</b>	<b>Anhang: Rekursiver Algorithmus für das 3D-Region Growing.....</b>	<b>130</b>
<b>9</b>	<b>Glossar / Abkürzungen.....</b>	<b>133</b>
<b>10</b>	<b>Produkte- und Herstellerverzeichnis.....</b>	<b>136</b>
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>140</b>