

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einleitung, Stand der Technik, Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Stand der Technik</b>	<b>3</b>
<b>1.2.1 Dreidimensionale Rekonstruktion</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2 Einsatz rekonstruierter Modelle für Planung und Implantatfertigung</b>	<b>7</b>
<b>1.2.3 Eingriffsunterstützung durch Maschineneinsatz</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Ziel der Arbeit</b>	<b>10</b>
<b>2. Ansatz einer rechnerunterstützten Operationstechnik</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Operationsproblem, Analyse der Aufgabenstellung</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Konzept des Systems</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Das Verfahren der Röntgen-Computertomographie</b>	<b>21</b>
<b>3. Verarbeitung von Grauwertbildern zu Konturlinien</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Anforderungen und Vorgehen</b>	<b>24</b>
<b>3.2 Bildverbesserung</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Verstärkung der Kanten</b>	<b>27</b>
<b>3.4 Konturextraktion</b>	<b>31</b>
<b>4. Dreidimensionale Rekonstruktion durch Triangulation</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Anforderungen, Probleme der Triangulation</b>	<b>35</b>

4.2 Struktur des Rekonstruktionssystems	36
4.3 Ansätze zur Lösung von Teilproblemen	36
4.4 Automatische Trennung von Innen- und Außenkonturen	44
4.5 Verarbeitung von Strukturverzweigungen und Zuordnung der Konturen	48
4.5.1 Vorgehensweise	48
4.5.2 Erzeugung von Gebietsmasken	49
4.5.3 Auftrennung der Konturen	50
4.5.4 Zuordnung der Konturen und Überprüfung der Plausibilität	52
4.6 Polygonapproximierung	52
4.7 Triangulation	55
4.8 Abschluß von Objekten	58
5. Computergestützte Planung einer Osteotomie durch Simulation	60
5.1 Anforderungen	60
5.2 Begriffserklärungen	61
5.3 Einbindung der Planung in ein bestehendes Simulationssystem	63
5.4 Funktionen zur Veränderung von Objekten	64
5.4.1 Trennen eines Objekts durch ebenen Schnitt	64
5.4.2 Gestaltveränderung durch Verschneidung von Objekten	65
5.4.3 Verbindung von getrennten Objekten	66
5.4.4 Meßfunktionen	67
5.5 Ablauf einer beispielhaften Planung	68

<b>5.6 Simulation des Werkzeugeinsatzes, Auswahl von Osteosynthesematerial</b>	<b>70</b>
<b>6. Operationsunterstützende Maschine</b>	<b>73</b>
<b>6.1 Anforderungen</b>	<b>73</b>
<b>6.2 Mechanik</b>	<b>74</b>
<b>6.3 Hygiene</b>	<b>75</b>
<b>6.4 Sicherheit</b>	<b>76</b>
<b>6.5 Programmgenerierung</b>	<b>77</b>
<b>6.6 Sensorik, Bestimmung der Lage des Operationsobjekts</b>	<b>79</b>
<b>6.6.1 Allgemeines</b>	<b>79</b>
<b>6.6.2 Verfahren zur Lagebestimmung</b>	<b>80</b>
<b>6.6.2.1 Ausgeführte Verfahren bei Maschineneinsatz in der Medizin</b>	<b>80</b>
<b>6.6.2.2 Angewandte Verfahren der Lagefixierung in der Medizin</b>	<b>82</b>
<b>6.6.2.3 Folgerungen und Anforderungen an ein Sensorsystem</b>	<b>83</b>
<b>6.7 Layoutgestaltung</b>	<b>84</b>
<b>7. Entwurf eines Sensorsystems zur Lagebestimmung des Operationsziels</b>	<b>88</b>
<b>7.1 Grundkonzeption des Sensorsystems</b>	<b>88</b>
<b>7.1.1 Sensorprinzip, Definition der Objektmerkmale</b>	<b>88</b>
<b>7.1.2 Konzeption des Sensorsystems</b>	<b>88</b>

7.1.3 Röntgenbildverstärker	91
7.2 Modellbildung, Koordinatensysteme, Methoden	91
7.2.1 Modellbildung zur Systementwicklung	91
7.2.2 Definition verwendeter Koordinatensysteme	92
7.2.3 Methoden der Konturbeschreibung, Ansätze zur 3D-Lagebestimmung	93
7.3 Bestimmung der Orientierung	99
7.3.1 Konzeptionelle Struktur des Moduls	99
7.3.2 Versuchsaufbau und Rechnerkonfiguration	100
7.3.3 Konturerzeugung	101
7.3.3.1 Konturdetektion in der Kameraaufnahme	101
7.3.3.2 Konturerzeugung vom CAD-Modell	102
7.3.4 Beschreibungsformen für Konturen	105
7.3.4.1 Anforderungen	105
7.3.4.2 Konturfunktion	106
7.3.4.3 Konturmerkmale	109
7.3.5 Optimierung der Projektionsebene	112
7.3.5.1 Analyse des Optimierungsproblems	112
7.3.5.2 Optimierungsverfahren	117
7.3.5.3 Struktur der Optimierung	122
7.3.6 Bestimmung der Drehung in der Bildebene	123
7.3.7 Abschätzung der Genauigkeit	125

<b>7.3.8 Einflüsse der Zentralprojektion</b>	126
<b>7.4 Bestimmung der Position</b>	129
<b>7.4.1 Lösungsansätze</b>	129
<b>7.4.2 Definition der Paßpunkte</b>	131
<b>7.4.3 Anordnung der Abbildungssysteme</b>	132
<b>7.4.3.1 Parallele Anordnung der optischen Achsen</b>	132
<b>7.4.3.2 Winkelanordnung der optischen Achsen</b>	134
<b>7.4.4 Eichung des Sensorsystems</b>	135
<b>7.4.4.1 Einführung</b>	135
<b>7.4.4.2 Skalierungsfaktor, Hauptpunkt</b>	136
<b>7.4.4.3 Betrachtung der idealen Abbildung, erster Schritt der Eichung</b>	138
<b>7.4.4.4 Linsenverzerrungen, zweiter Schritt der Eichung</b>	140
<b>7.4.5 Genauigkeitsabschätzung</b>	141
<b>7.5 Ausblick auf Möglichkeiten der Systemanpassung</b>	144
<b>7.5.1 Verbesserte Abstandserfassung</b>	144
<b>7.5.2 Reduzierung des Berechnungsaufwands</b>	146
<b>7.6 Referierung des Sensorsystems</b>	147
<b>8. Zusammenfassung und Ausblick</b>	150
<b>9. Literaturverzeichnis</b>	152