

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Akronyme	V
Formelzeichen und SI-Einheiten.....	VII
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik.....	2
2.1 Chirurgische Navigation	2
2.1.1 Workflow	2
2.1.2 Bildgebung	2
2.1.3 Messverfahren	4
2.1.4 Registrierverfahren	10
2.1.5 Visualisierung.....	11
2.2 Kamerabasierte Messtechnik	13
2.2.1 Kamerageometrie	13
2.2.2 Feature-Detektion und Feature-Matching	14
2.2.3 Optischer Fluss	19
2.2.4 Kartenerstellung.....	20
2.2.5 Punktwolkenregistrierung.....	24
2.2.6 Lokalisation und Navigation	26
3 Problemstellung	29
3.1 Problemstellung aus Anwendersicht	29
3.2 Technische Problemstellung und eigener Ansatz	30
4 Zielsetzung	32
4.1 Zielsetzung der Arbeit.....	32
4.2 Anforderungen an das Zielsystem.....	33
4.3 Betrachtung alternativer Lösungsansätze	34
4.4 Abgrenzung zu vergleichbaren Technologien	35
5 Konzeption.....	36
5.1 Funktionsprinzip	36
5.2 Softwaremodule und Datenfluss.....	38
5.3 Softwarearchitektur.....	41
5.3.1 Bildverarbeitungs-Pipeline	41
5.3.2 Softwarestruktur	43
6 Algorithmische Umsetzung	44
6.1 Bildvorverarbeitung.....	44
6.1.1 Bildmaskenerzeugung	44
6.1.2 Verzeichnungskorrektur	45
6.1.3 Bildschärfung	47
6.1.4 Instrumentenmaskenerzeugung	47
6.2 Feature-Detektion, -Extraktion und -Matching.....	48
6.2.1 Algorithmen	48
6.2.2 Filterung	51
6.3 CT-Oberflächenextraktion	52
6.3.1 Ziel	52
6.3.2 Ablauf.....	52
6.3.3 Vorverarbeitung	53

6.3.4	Marching-Cubes-Algorithmus	55
6.4	Kartenerstellung.....	57
6.4.1	Ziel	57
6.4.2	Ablauf	57
6.4.3	Vorverarbeitung.....	59
6.4.4	Rektifizierung	60
6.4.5	Rekonstruktion	62
6.4.6	Punktwolkenerstellung	65
6.5	Punktwolkenregistrierung	66
6.5.1	Ziel	66
6.5.2	Ablauf	67
6.5.3	Vorverarbeitung.....	68
6.5.4	Grobregistrierung	70
6.5.5	Tiefenkartenbasierte Registrierung	70
6.5.6	Feinregistrierung	76
6.6	Lokalisation.....	77
6.6.1	Ziel	77
6.6.2	Ablauf.....	77
6.6.3	2D-3D-Punktkorrespondenzen.....	79
6.6.4	Tracking	80
6.6.5	Berechnung der Kamera-Pose.....	81
6.6.6	Parallelisierung der Bildverarbeitung.....	82
7	Systemdesign	83
7.1	Hardware	83
7.1.1	Kamerasystem	83
7.1.2	Kernkomponenten	84
7.1.3	Kamerahalterung.....	87
7.2	Kalibrierung.....	88
7.2.1	Kamerakalibrierung	88
7.2.2	Instrumentenkalibrierung.....	90
7.3	Graphische Benutzeroberfläche	92
7.4	Bedienkonzept	95
8	Technische Evaluation.....	97
8.1	Definitionen	97
8.2	Genauigkeit.....	98
8.2.1	Instrumentenkalibrierung.....	98
8.2.2	Kartenerstellung	100
8.2.3	Punktwolkenregistrierung	102
8.2.4	Lokalisation	107
8.2.5	Systemgenauigkeit.....	116
8.3	Fehlereinflüsse und Robustheit	120
8.3.1	Patientenregistrierung und Skalierung	120
8.3.2	Karte für die Lokalisation.....	123
8.3.3	Größe des Messbereichs	123
8.3.4	Einsatz unter OP-Bedingungen.....	125
8.4	Prozessgeschwindigkeiten	125
9	Zusammenfassung	127

10	Abbildungsnachweis	131
11	Literaturverzeichnis.....	132