

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	vii
1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Grundlagen	7
2.1. Medizinische Anwendungsfälle	7
2.1.1. Hiatushernie, ein Anwendungsfall in der Viszeral Chirurgie.....	7
2.1.2. Leistenbruch, ein weiterer Anwendungsfall in der Viszeral Chirurgie ..	11
2.1.3. Meniskusoperation, ein Anwendungsfall in der Arthroskopie.....	13
2.1.4. Ovarialzysten, ein Anwendungsfall in der Gynäkologie	15
2.1.5. Anforderungen an das zu entwickelnde Messsystem	15
2.2. Die Arbeitssituation bei minimalinvasiven Eingriffen.....	16
2.2.1. Ergonomische Betrachtungen.....	16
2.2.2. Aktueller Stand der Messtechnik im Bereich der minimalinvasiven Operationstechniken.....	17
2.3. Gerätetechnische Voraussetzungen	18
2.3.1. Systemgeräte der Laparoskopie	18
2.3.2. Vorgefundene elektrische und mechanische Zugangsmöglichkeiten in der zur Laparoskopie gehörenden Peripherie	24
2.4. Stand der Technik	26
2.4.1. Einfache Messverfahren.....	26
2.4.2. Komplexere Messverfahren	28
2.4.3. Verfahren zur Einbindung von Messdaten aus CT und MRT	31
2.4.4. Schlussfolgerung aus dem aktuellen Stand der Technik.....	31
3. Lösungsfindung.....	33
3.1. Anforderungskatalog	33
3.2. Auswahl eines geeigneten Messprinzips	34
3.2.1. Die optische Markierung als Messreferenz	35
3.2.2. Vorversuche zum Messprinzip.....	37
3.2.3. Laser in der Medizintechnik	40
3.2.4. Ergebnisse und Auswahl eines Messprinzips.....	41

3.3.	Detaillierung des gewählten Messprinzips	41
3.3.1.	Die Bedeutung der optischen Achse	41
3.3.2.	Messgrößen und Koordinatensysteme	42
3.3.3.	Grenzen der optischen Vermessung	44
3.4.	Mathematische Modellierung des Messprinzips.....	45
3.4.1.	Die Größen des Objektraums	46
3.4.2.	Die Größen des optischen Systems.....	48
3.4.3.	Die Größen des Bildschirms	49
3.4.4.	Zusammenfassung der Systemgrößen.....	50
3.5.	Zielvorstellung bei der Entwicklung des Messsystems.....	52
3.6.	Vorgehensmodell zur Implementierung des Messsystems	53
3.6.1.	Hardwarekomponenten.....	53
3.6.2.	Softwarekomponenten	53
4.	Experimentelle Erprobung	59
4.1.	Experimenteller Aufbau des Labormusters	59
4.2.	Messprinzip des Labormusters	60
4.3.	Erstellung der Einzelkomponenten des Labormusters.....	61
4.3.1.	Pelvi-Trainer	61
4.3.2.	Aufbau des zur Messung verwendeten Endoskops	62
4.3.3.	Präzisionslaserquelle	65
4.3.4.	Präzisionsadapter.....	66
4.3.5.	Kaltlichtquelle.....	67
4.3.6.	Kamerakopf.....	67
4.3.7.	Kamerasteuergerät.....	68
4.3.8.	Steuergerät für die Laserquelle	68
4.3.9.	Bildverarbeitung.....	70
4.3.10.	Monitor	77
4.4.	Modellierung des zusammengeführten Labormusters.....	79
4.4.1.	Voraussetzungen für die Messungen.....	79
4.4.2.	Modellierung der Referenzdistanz mit der Linsengleichung	80
4.4.3.	Eindeutigkeit der Position der abgebildeten Lasermarkierung.....	81
4.4.4.	Strahldurchmesser und Erkennbarkeit der Lasermarkierung	82
4.4.5.	Einflussgrößen bei der Messung und Grenzen	83

4.5.	Einflüsse auf die Genauigkeit des Messergebnisses.....	83
4.5.1.	Pixeldiskretisierung.....	86
4.5.2.	Quantifizierungsfehler Lasermarkierung.....	88
4.5.3.	Abweichung Lasermarkierungsdetektionsalgorithmus.....	89
4.5.4.	Verbleibende Abweichung nach der Bildentzerrung.....	92
4.5.5.	Verbleibende Abweichung des Detektionsalgorithmus der optischen Achse.....	93
4.5.6.	Quantifizierung der optischen Messungenauigkeiten.....	93
4.6.	Überprüfung des Gesamtaufbaus.....	95
4.6.1.	Mechanische Stabilität und Ausrichtung von Endoskop und Kamera...	95
4.6.2.	Weitere mechanische Einflussgrößen.....	97
4.7.	Erprobung des zusammengefügteten Labormusters.....	97
4.7.1.	Mechanische Stabilitätsprobleme.....	98
4.7.2.	Bestimmung der Bildentzerrung mittels der Schachbrettmethode.....	102
4.7.3.	Kalibrierung bei schiefwinkligem Verlauf des Laserstrahls.....	103
4.7.4.	Durchführung von Messungen.....	108
4.7.5.	Auswertung.....	108
5.	Systemoptimierung und mögliche Weiterentwicklungen.....	113
5.1.	Mechanische Stabilität des Systems als Voraussetzung.....	114
5.2.	Vermessung mit Hilfe eines <i>Chip-on-the-tip</i> -Endoskops.....	115
5.2.1.	Technische Daten.....	116
5.2.2.	Aufbau und Kalibrierung.....	116
5.2.3.	Erfassung der Lasermarkierungen.....	118
5.2.4.	Ermittlung der Laserstrahlausrichtung in Bezug auf die optische Achse	119
5.2.5.	Anwendung des Messprinzips mit Hilfe eines parallelen Laserstrahls	123
5.2.6.	Auswertung der Messungen.....	124
5.3.	Vergleich der Ergebnisse mit denen des <i>Techno Pack X</i>	126
5.4.	Anwendung des Messprinzips auf biologisches Gewebe.....	127
5.5.	Darstellung der Messinformation als virtueller Messstab.....	128
6.	Diskussion der Ergebnisse.....	131
7.	Patentanmeldungen.....	137
8.	Zusammenfassung und Ausblick.....	139

Anhang	143
A Glossar	143
B Symbolverzeichnis	145
C Nomenklatur.....	147
D Literaturverzeichnis.....	149