
Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Zielstellung.....	2
1.2	Aufbau der Arbeit	2
2	Robotersysteme für die Chirurgie	4
2.1	Telemanniolierte Operationsroboter	6
2.1.1	daVinci	7
2.1.2	neuroArm	9
2.1.3	DLR-Medizinroboter	10
2.1.4	Raven-II.....	13
2.1.5	Telelap ALF-X.....	13
2.1.6	ZRSS	14
2.2	Assistenzroboter für die Chirurgie	15
2.2.1	AESOP.....	17
2.2.2	EndoAssist	17
2.2.3	LapMan.....	17
2.2.4	SOLOASSIST	18
2.2.5	DLR-Medizinroboter	18
2.2.6	Freehand	18
2.2.7	LER/ViKY.....	19
2.3	Passive Haltearme.....	19
2.3.1	EndoFreeze	20
2.3.2	POINT SETTER.....	21
2.3.3	EndoArm	21
2.4	Nicht-medizinische Roboterarme in Leichtbauweise	22
2.4.1	IIWA.....	23
2.4.2	UR3, UR5 und UR10	24
2.4.3	JACO	24

3	Anforderungen an einen Roboterarm für die Chirurgie	26
3.1	<i>Integration in den Operationssaal.....</i>	27
3.1.1	Betrachtung des Operationssaals	27
3.1.2	Handhabbarkeit	28
3.1.3	Sterilität.....	29
3.1.4	Abgeleitete Anforderungen an die Integration.....	29
3.2	<i>Mehrzwecktauglichkeit</i>	30
3.2.1	Kinematik	30
3.2.2	Arbeitsraum.....	31
3.2.3	Traglast	32
3.2.4	Präzision	34
3.2.5	Kraftrückmeldung	34
3.2.6	Abgeleitete Anforderung an die Mehrzwecktauglichkeit.....	35
3.3	<i>Sicherheit.....</i>	35
3.3.1	Normen und Klassifizierung	37
3.3.2	Elektrische Sicherheit.....	38
3.3.3	Kollisions- und Klemmgefahren.....	39
3.3.4	Abgeleitete Anforderungen an die Sicherheit	40
3.4	<i>Gebrauchstauglichkeit.....</i>	40
3.4.1	Ergonomie	41
3.4.2	Benutzerfreundlichkeit.....	42
3.4.3	Effektor	43
3.4.4	Abgeleitete Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit	44
3.5	<i>Wirtschaftlichkeit.....</i>	45
3.5.1	Kosten	45
3.5.2	Investitionsmittel	46
3.5.3	Herstellungskosten	47
3.5.4	Abgeleitete Anforderungen zur Wirtschaftlichkeit	47
4	Konzept und Funktionsmuster eines Roboterarms für die flexible Instrumentenführung.....	49
4.1	<i>Konzept</i>	50
4.1.1	Roboterarm am Operationstisch.....	50
4.1.2	Integrierte Zustandsausgabe.....	52

4.1.3 Sichere Zusammenarbeit	53
4.1.4 Abgrenzung zum Stand der Technik	54
4.2 <i>Mechanik</i>	55
4.2.1 Kinematik	55
4.2.2 Strukturelemente.....	59
4.2.3 Entwurf	62
4.2.4 Instrumentenaufnahme	68
4.3 <i>Antriebe</i>	70
4.3.1 Auslegung.....	71
4.3.2 Dimensionierung	71
4.3.3 Getriebeeinheiten	75
4.3.4 Motoren.....	76
4.4 <i>Elektronik</i>	76
4.4.1 Motorsteuerplatine	77
4.4.2 Leuchtdioden.....	79
4.4.3 Übertragung der Daten und Energie.....	80
4.4.4 Schleifringübertragung.....	81
4.4.5 Steuerrechner.....	82
4.5 <i>Kommunikation</i>	84
4.5.1 CAN-Bus.....	84
4.5.2 Asynchrone Kommunikation.....	84
4.5.3 Protokoll.....	85
4.5.4 Sicherheitslauf	86
4.6 <i>Steuerung</i>	86
4.6.1 Kraft-Momenten-Sensor	87
4.6.2 Kraftregelung der Handführung	88
4.6.3 Kinematik	89
4.6.4 Feder-Dämpfer-Masse-Modell.....	89
4.6.5 Regelung	91
4.6.6 Arbeitsraum.....	91
4.7 <i>Interaktion</i>	93
4.7.1 Ein- und Ausgabemöglichkeiten	94
4.7.2 Zustände	95

4.7.3	Ablauf	97
5	Evaluierung des Funktionsmusters	98
5.1	<i>Diskussion der Umsetzungsmerkmale</i>	<i>98</i>
5.1.1	Integration	99
5.1.2	Mehrzwecktauglichkeit	99
5.1.3	Sicherheit	100
5.1.4	Gebrauchstauglichkeit	100
5.1.5	Wirtschaftlichkeit	101
5.2	<i>Erprobung des Roboterarms</i>	<i>101</i>
5.2.1	Methode	101
5.2.2	Ergebnis	101
5.3	<i>Bestimmung der Wiederholgenauigkeit</i>	<i>103</i>
5.3.1	Methode	104
5.3.2	Ergebnis	106
5.4	<i>Untersuchung der Eigenfrequenz</i>	<i>106</i>
5.4.1	Methode	106
5.4.2	Ergebnis	106
5.5	<i>Untersuchung der Nachgiebigkeit</i>	<i>107</i>
5.5.1	Methode	107
5.5.2	Ergebnis	108
5.6	<i>Belastungstest der Schleifringübertragung</i>	<i>109</i>
5.6.1	Methode	110
5.6.2	Ergebnisse	111
6	Zusammenfassung und Ausblick	112
6.1.1	Übersicht der Arbeit	112
6.1.2	Resultat	113
6.1.3	Ausblick	114
7	Literaturverzeichnis	116