

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis

1	<u>Einleitung</u>	1
1.2	Problemstellung und Zielsetzung	2
1.3	Methodik der Arbeit	4
2	<u>Anatomie und Physiologie der menschlichen Hand</u>	6
2.1	Funktionelle Anatomie der menschlichen Hand	6
2.2	Greifstrategien	9
2.3	Zusammenfassung und Wertung wesentlicher Funktionsmerkmale	10
3	<u>Technisch-wissenschaftlicher Stand</u>	12
3.1	Handprothesen	13
3.2	Robotergreifer	14
3.3	Zusammenfassung und Bewertung vorhandener Systeme	16
4	<u>Anforderungen an ein flexibles mehrfingeriges Greifersystem</u>	17
4.1	Präzisierung der Aufgabenstellung	17
4.1.1	Mechanik, Kinematik, Aktuatorik	17
4.1.2	Sensorik	20
4.1.3	Betriebsarten	21
4.1.4	Weltraumumgebung	22
4.2	Teilprobleme und Forschungskonzeption	22
5	<u>Alternative Greiferkonzepte</u>	24
5.1	Grundgedanken der Konstruktion	24
5.1.1	Fingeranzahl	24
5.1.2	Gelenkanordnung und Anzahl	25
5.1.3	Anordnung der Aktuatoren	27

10.3.3	Betätigungselemente	103
10.3.4	Signalverarbeitung	104
10.4	Meßergebnisse	106
10.5	Zusammenfassung der Leistungsmerkmale des taktilen Sensors	106
10.6	Entwicklungspotential	108
11	<u>Eingabegerät zur Steuerung von "Roboterhänden"</u>	109
11.1	Stand der Technik	110
11.2	Anforderungen an einen "Sensorhandschuh"	112
11.3	Realisation eines flexiblen Sensorhandschuhs	113
11.3.1	Adaption von Sensoren und Aktuatoren an die steuernde Hand	114
11.3.2	Positionserfassung	114
11.3.3	Kraftrückmeldung	115
12	<u>Handhabungssystem "Flexibler Mehrfingergreifer"</u>	118
12.1	Hardware	118
12.2	Benutzeroberfläche	118
13	<u>Manipulationsergebnisse</u>	122
13.1	Teach-In-Betrieb	124
13.2	Telemanipulation	125
13.3	Automatisierte Greif- und Manipulationsstrategien	127
14	<u>Zusammenfassung der Ergebnisse der Arbeit</u>	128
14.1	Der Experimentalgreifer	128
14.2	Sensorhandschuh als Hilfsmittel zur Telemanipulation	130
14.3	Gesamtergebnis	130
14.5	Ausblick	131
Anhang A: <u>Kinematische Modelle</u>		132
Anhang B <u>Thermische Ersatzschaltbilder und Modellvereinfachungen</u>		134
<u>Literaturverzeichnis</u>		137

5.2	Antriebskonzepte	28
5.3	Seiltriebener Greifer	32
5.3.1	Aktuatoren und Greifermechanik	32
5.3.2	Gelenkwinkel- und Gelenkmomenten-Sensoren	35
5.4	Greifer mit in den Fingergliedern integrierten Motoren	37
5.4.1	Aktuatoren und Greifermechanik	37
5.4.2	Gelenkwinkel- und Gelenkmomenten-Sensoren	42
6	<u>Steuerungs-/Regelungsstruktur</u>	44
6.1	Steuerungs-Hardware	44
6.1.1	Steuerungsrechner	45
6.1.2	Interfaceelektronik	46
6.1.2.1	Interface "Seiltriebener Greifer"	47
6.1.2.2	Interface "Direkttriebener Greifer"	47
6.1.3	Sensorsignalvorverarbeitung	47
6.2	Softwarestruktur	48
6.3	Kartesische Regelung	50
6.3.1	Mathematische Notation	50
6.3.1.1	Kinematisches Modell	52
6.3.1.2	Inverses kinematisches Modell	53
6.3.1.3	Kraft- und Momentenmodell	53
6.3.2	Kartesische Positionsregelung	55
6.3.2.1	Kinematische Modelle und Verkopplungen des seilgetriebenen Greifers	55
6.3.2.2	Kinematische Modelle und Verkopplungen des direktgetriebenen Greifers	57
6.3.3	Kartesische Kraftregelung	58
6.4	Gelenkregelung	59
6.4.1	Gelenkpositionsregelkreise	61
6.4.1.1	Seiltriebener Greifer	61
6.4.1.2	Direkttriebener Greifer	62
6.4.2	Gelenkmomentenregelkreise	64
6.4.3	Gelenksteifigkeitsregelung	65
6.5	Benutzeroberfläche/Servicefunktionen	66

7	<u>Vergleichende Analyse der Leistungsmerkmale der untersuchten Greiferkonzepte</u>	67
7.1	Mechanik/Kinematik/Aktuatorik	67
7.2	Steuerungshardware und Sensorik	69
7.3	Regelungstechnisches Systemverhalten	70
7.4	Zusammenfassung	70
8	<u>Realisation des ausgewählten Greiferkonzeptes mit in den Fingergliedern integrierten Antriebsmodulen</u>	72
9	<u>Die Weltraumumgebung und ihre Auswirkungen auf den Greifer</u>	77
9.1	Die Weltraumumgebung	77
9.2	Möglichkeiten zur Simulation von Wärmetransportvorgängen	79
9.3	Analogiebetrachtungen zwischen thermischen und elektrischen Vorgängen	80
9.3.1	Theoretische Grundlagen	80
9.3.2	Thermisches Ersatzschaltbild des Robotergreifers	85
9.3.2.1	Thermische Ersatzschaltbilder der Gelenkmodule	86
9.3.2.2	Vereinfachungen der Modelle	86
9.3.2.3	Vergleichsmessungen und Diskussion systematischer Fehler des Modells	88
9.4	Simulationsergebnisse	89
9.4.1	Simulationsergebnisse unter Laborumgebungsbedingungen	90
9.4.2	Simulationsergebnisse unter Weltraumumgebungsbedingungen	92
9.5	Wertung	94
9.5.1	Leistungsfähigkeit des Modellansatzes	94
9.5.2	Zusammenfassung der Ergebnisse der thermischen Analyse des Greiferexperimentalsystems	95
9.5.3	Möglichkeiten der Optimierung	96
10	<u>Taktile Sensoren als "künstliche Haut" flexibler Robotergreifer</u>	97
10.1	Stand der Technik	98
10.2	Das Sensorkonzept	99
10.3	Aufbau und Funktionsweise des taktilen Sensors	100
10.3.1	Wahl des Substrates und der Dickschichtpasten	100
10.3.2	Gestaltung der Sensorfläche	101

10.3.3	Betätigungselemente	103
10.3.4	Signalverarbeitung	104
10.4	Meßergebnisse	106
10.5	Zusammenfassung der Leistungsmerkmale des taktilen Sensors	106
10.6	Entwicklungspotential	108
11	<u>Eingabegerät zur Steuerung von "Roboterhänden"</u>	109
11.1	Stand der Technik	110
11.2	Anforderungen an einen "Sensorhandschuh"	112
11.3	Realisation eines flexiblen Sensorhandschuhs	113
11.3.1	Adaption von Sensoren und Aktuatoren an die steuernde Hand	114
11.3.2	Positionserfassung	114
11.3.3	Kraftrückmeldung	115
12	<u>Handhabungssystem "Flexibler Mehrfingergreifer"</u>	118
12.1	Hardware	118
12.2	Benutzeroberfläche	118
13	<u>Manipulationsergebnisse</u>	122
13.1	Teach-In-Betrieb	124
13.2	Telemanipulation	125
13.3	Automatisierte Greif- und Manipulationsstrategien	127
14	<u>Zusammenfassung der Ergebnisse der Arbeit</u>	128
14.1	Der Experimentalgreifer	128
14.2	Sensorhandschuh als Hilfsmittel zur Telemanipulation	130
14.3	Gesamtergebnis	130
14.5	Ausblick	131
Anhang A: <u>Kinematische Modelle</u>		132
Anhang B: <u>Thermische Ersatzschaltbilder und Modellvereinfachungen</u>		134
<u>Literaturverzeichnis</u>		137