

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	7
Abstract	8
Inhaltsverzeichnis	9
Abbildungsverzeichnis	14
Tabellenverzeichnis	17
Formelzeichen	18
Abkürzungsverzeichnis	21
1 Einleitung	23
1.1 Motivation	23
1.1.1 Klettern in der Natur	24
1.1.2 Zielstellung	26
1.2 Definitionen	28
1.2.1 Klettern	28
1.2.2 Robotik	29
1.2.3 Definition Greifen, Greifer und Wirkpaarung	31
1.2.4 Definition Kletterroboter	32
1.2.5 Modulare Robotik	33
2 Kletterrobotik	34
2.1 „Ökologische“ Betrachtungen der Kletterroboter	34
2.1.1 Ökologie und ihre Einteilung	35
2.1.2 Wechselwirkungen zwischen Robotern und ihrer Umwelt	35
2.1.3 Vergleich von Handhabungs- und Kletterrobotern	39
2.1.4 Zeitlicher Verlauf des Substratkontakts	40
2.2 Greifersystematik anhand der Wirkpaarung	41
2.2.1 Vorbetrachtungen	41
2.2.2 Klassifikation der Wirkpaarung	44
2.3 Fortbewegungssystematik nach Yim	45
2.4 Aktuelle Kletterrobotiksysteme	47
2.4.1 Eingrenzung des Recherchefeldes	47
2.4.2 Kletterroboter mit elektrostatischer Wirkpaarung	48
2.4.3 Kletterroboter mit magnetischer Wirkpaarung	49
2.4.4 Kletterroboter mit strömungsbasierten Greifern	50
2.4.5 Kletterroboter mit fluidisch-statischen Unterdruckgreifern	51

VERZEICHNISSE

2.4.6 Kletterroboter mit Wirkpaarung durch eindringende Festkörper.....	51
2.4.7 Roboter mit mechanisch anpressenden Greifern	52
2.5 Einschätzung des Stands der Technik in der Kletterrobotik.....	53
2.5.1 Einfluss der Wirkpaarung auf die Masse der Kletterroboter	53
2.5.2 Einfluss der Lokomotionsform auf die Masse des Roboters.....	54
2.5.3 Beziehung zwischen Substrateigenschaften und Greifer.....	55
3 Modulare mobile Robotik	59
3.1 Grundlegende Eigenschaften.....	59
3.2 Klassifikation	60
3.3 Kettenbildende modulare Robotersysteme	63
3.3.1 Entwurf eines Referenzsystems.....	65
3.3.2 Bewertung des aktuellen Stands in der modularen Robotik	67
4 Modularisierung in der Mechatronik	69
4.1 Grundlagen der ModularisierungModulrahmen	69
4.1.1 Modularisierung technischer Systeme	69
4.1.2 Kriterien für Modularisierung.....	70
4.2 Diversität modularer Systeme	72
4.2.1 Homogenität vs. Heterogenität	72
4.2.2 Aufbau eines modularen heterogenen Systems.....	74
4.3 Abgeleitete Prinzipien des modularen Entwurfs	75
4.3.1 Kriterien.....	75
4.3.2 Modularer Entwurf im der Rahmen der Richtlinie VDI 2206	75
5 Entwurf des modularen Systems.....	79
5.1 Anforderungsdefinition für einen modularen Kletterroboter.....	79
5.1.1 Ziele der Entwicklung des modularen Systems	79
5.1.2 Funktionelle Anforderungen resultierend aus dem Stand der Technik....	79
5.2 Gesamtsystementwurf	80
5.2.1 Funktionsstruktur	80
5.2.2 Vereinfachen der Funktionsstruktur.....	83
5.2.3 Varianten eines modularen Systems	85
5.2.4 Bewertung der Modularisierungsvarianten	86
5.3 Zusammenfassen der Ergebnisse der Modularisierung	89
6 Entwicklung der Schnittstelle	91
6.1 Anforderungen für die Entwicklung der Schnittstelle	91
6.1.1 Schnittstelle als Koppelsystem.....	91
6.1.2 Interne Struktur der Module.....	92
6.2 Mechanische Struktur.....	94
6.2.1 Modulinterne Struktur der Mechanik	94

VERZEICHNISSE

6.2.2	Ausführung der mechanischen Schnittstelle	95
6.2.3	Dimensionierung der mechanischen Schnittstelle.....	96
6.3	Elektrisches System.....	97
6.3.1	Modulinterne Struktur der leistungselektronischen Komponenten	97
6.3.2	Ausführung der elektrischen Schnittstelle	99
6.3.3	Dimensionierung der Schnittstelle.....	100
6.3.4	Modulinterne Struktur der elektronischen Teildomäne	100
6.3.5	Ausführung der elektronischen Struktur	102
6.4	Informationsverarbeitung.....	103
6.4.1	Modulinterner Datenfluss.....	103
6.4.2	Kommunikationsschnittstelle.....	104
6.4.3	Ableiten der Anforderungen für die Schnittstelle	105
6.5	Zusammenfassung der Schnittstellenanforderungen	106
7	Einheitliche Modulkomponenten	108
7.1	Mechanische Modulkomponenten	108
7.1.1	Modulrahmen	108
7.2	Elektronische Modulkomponenten	110
7.2.1	Modulinterne Elektronik.....	110
7.2.2	Kommunikationselektronik.....	112
8	Modulentwicklungen	114
8.1	Einheitliche Anforderungen.....	114
8.2	Bewegungsmodule	116
8.2.1	Rotationsmodul.....	116
8.2.2	Doppelrotationsmodul	117
8.2.3	Mechanische Abtriebsadapter	117
8.3	Greifmodule	118
8.3.1	Fingergreifer.....	118
8.3.2	Unterdruckgreifer.....	120
8.3.3	Magnetgreifmodul	121
8.4	Energiespeichermodul	123
8.5	Ergebnisse und Diskussion der Modulentwicklung.....	124
8.5.1	Überblick der Module.....	124
8.5.2	Diskussion: einheitliche Modulkomponenten	124
8.5.3	Diskussion: Bewegungsmodule.....	126
8.5.4	Diskussion: Greifmodule	127
8.5.5	Validierung der Module anhand des Referenzsystems	128
9	Vergleich des modularen mit einem integrierten Konzept	131
9.1	Der Kletterroboter RATNIC	131
9.1.1	Mechanik	131

VERZEICHNISSE

9.1.2 Elektronik und Steuerung	132
9.1.3 Bewegungsablauf RATNIC.....	133
9.2 Konfiguration zum Klettern an zylindrischen Substraten.....	134
9.2.1 Aufbau des Systems	134
9.2.2 Bewegungsablauf der Vergleichskonfiguration.....	135
9.3 Quantitativer Vergleich	136
9.3.1 Methode.....	136
9.3.2 Ergebnisse des Vergleichs.....	140
9.3.3 Diskussion der Vergleichsergebnisse.....	140
10 Diskussion und Ausblick	142
10.1 Anwendung der Funktionsmodule	142
10.1.1 Fortbewegung	142
10.1.2 Wirkpaarung.....	143
10.1.3 Energieversorgung	146
10.2 Modulare Struktur	146
10.2.1 Struktur des modularen Systems	146
10.2.2 Anwendung des modularen Systems	148
11 Zusammenfassung.....	149
Literaturverzeichnis	152
Thesen.....	161
A Anhang	163
A.1 Modularisierungsvarianten	163
A.1.1 Variante „Ref“ - Referenzvariante	163
A.1.2 Variante „E _{int} I _{lin} “ - Energie integriert, IV intergriert	164
A.1.3 Variante „E _{zen} I _{zen} “; Energie zentral, IV zentral.....	165
A.1.4 Variante „E _{zen} I _{int} “ - Energie zentral, IV integriert.....	166
A.1.5 Variante „E _{int} I _{zen} “ - Energie zentral, IV integriert.....	167
A.2 Übersicht Kletterroboter	168
A.3 Nachrechnungen	170
A.3.1 Klemmverbindung zwischen Modul und Koppelement	170
A.4 Evaluation des System anhand des Spezialsystems RATNIC	171
A.4.1 Steuerungssoftware.....	171
A.4.2 Berechnung der Sollgrößen unter LabView®	171
A.4.3 Messmethode	173
A.4.4 Messaufbau.....	174
A.4.5 Abschätzung der Messunsicherheit	175

VERZEICHNISSE

A.4.6	Messung der Zusatzmasse an RATNIC.....	177
A.4.7	Messung der Zusatzmasse an der Vergleichskonfiguration.....	178
A.4.8	Messprotokoll – Vergleichskonfiguration	179
A.4.9	Messprotokoll – RATNIC	182