

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung . . . . .	2
1.2	Zielsetzung und Beitrag . . . . .	3
1.3	Aufbau der Arbeit . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Analyse der Manipulationsaufgabe</b>	<b>7</b>
2.1	Teilespektrum . . . . .	7
2.2	Objektanordnungen . . . . .	8
2.3	Anforderungen an das Greifsystem . . . . .	12
2.4	Anforderungen an die Manipulationsstrategien . . . . .	13
2.5	Zusammenfassung . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>17</b>
3.1	Flexible Greifsysteme . . . . .	17
3.1.1	Industrielle Greifsysteme . . . . .	19
3.1.2	Greifsysteme in der Forschung . . . . .	20
3.1.3	Bewertung der vorgestellten Greifsysteme . . . . .	21
3.1.4	Lösungsansatz . . . . .	23
3.2	Universelle Manipulationsstrategien . . . . .	29
3.2.1	Greif- und Umgreifstrategien . . . . .	30
3.2.2	Fügestrategien und Prozessüberwachung . . . . .	37
3.2.3	Bewertung der vorgestellten Manipulationsstrategien . . . . .	41
3.2.4	Lösungsansatz . . . . .	41
3.3	Optimierung in der industriellen Montage . . . . .	43
3.3.1	Optimierung von Abläufen . . . . .	44
3.3.2	Optimierung von Trajektorien . . . . .	44
3.3.3	Optimierung von Prozessparametern . . . . .	45
3.3.4	Bewertung der vorgestellten Optimierungsansätze . . . . .	45
3.3.5	Lösungsansatz . . . . .	46

3.4	Zusammenfassung . . . . .	46
<b>4</b>	<b>Ansatz zu universellen Manipulationsstrategien</b>	<b>49</b>
4.1	Zerlegung einer Manipulationsaufgabe . . . . .	50
4.2	Definition von Ungenauigkeiten . . . . .	54
4.3	Atomare Teilstrategien . . . . .	55
4.3.1	Roboterbewegungen . . . . .	58
4.3.2	Greiferfunktionen . . . . .	59
4.3.3	Kontaktbasierte Fügebewegungen . . . . .	65
4.3.4	Anpassung der Schrittgröße . . . . .	72
4.4	Strategien für die Manipulationsteilaufgaben . . . . .	73
4.4.1	Transferstrategien . . . . .	73
4.4.2	Anrückstrategien . . . . .	76
4.4.3	Abrückstrategien . . . . .	78
4.4.4	Greifstrategien . . . . .	79
4.4.5	Loslassstrategien . . . . .	82
4.4.6	Fügestrategien . . . . .	83
4.5	Konfiguration einer Manipulationsaufgabe durch den Benutzer . . . . .	88
4.6	Beispielhafte Ausführung einer Manipulationsaufgabe . . . . .	88
4.7	Zusammenfassung . . . . .	95
<b>5</b>	<b>Erfahrungsbasierte Taktzeitoptimierung der Manipulationsstrategien</b>	<b>97</b>
5.1	Grundlagen des fallbasierten Schließens . . . . .	98
5.2	Wissensrepräsentation . . . . .	98
5.2.1	Fälle . . . . .	98
5.2.2	Aufgaben . . . . .	99
5.2.3	Problemsituationen . . . . .	101
5.2.4	Lösungen . . . . .	101
5.3	Ausführung einer atomaren Teilstrategie mit fallbasiertem Schließen . . . . .	102
5.3.1	Auffinden relevanter Fälle . . . . .	103
5.3.2	Wiederverwenden der Lösung . . . . .	107
5.3.3	Anpassen der Lösung . . . . .	108
5.3.4	Speichern der gewonnenen Erfahrung . . . . .	110
5.4	Beispielhafte Ausführung einer atomaren Teilstrategie . . . . .	113
5.5	Zusammenfassung . . . . .	120

<b>6</b>	<b>Umsetzung des universellen Montagesystems</b>	<b>123</b>
6.1	Gesamtsystemübersicht . . . . .	123
6.1.1	Roboter-Schnittstelle . . . . .	123
6.1.2	Greifer-Schnittstelle . . . . .	125
6.1.3	Sensorik-Schnittstelle . . . . .	126
6.2	Manipulationsstrategien . . . . .	126
6.3	Fallbasis . . . . .	128
6.4	Grafische Benutzerschnittstelle . . . . .	129
6.5	Zusammenfassung . . . . .	130
<b>7</b>	<b>Experimente und Ergebnisse</b>	<b>133</b>
7.1	Experimentiersysteme . . . . .	134
7.1.1	Stäubli-Industrieroboterzelle . . . . .	134
7.1.2	Serviceroboter Albert II . . . . .	136
7.2	Evaluation der universellen Manipulationsstrategien . . . . .	139
7.2.1	Ablegen von Schüttgut . . . . .	140
7.2.2	Ablegen als Einzelteil . . . . .	141
7.2.3	Ablegen als Teil an Teil . . . . .	143
7.2.4	Ablegen in rechteckigen Fächern . . . . .	146
7.2.5	Fügen als Peg in Hole . . . . .	149
7.2.6	Fügen als Hole on Peg . . . . .	152
7.3	Evaluation der System-Unabhängigkeit . . . . .	155
7.3.1	Einsetzen einer Weinflasche in einen Flaschenkühler . . . . .	156
7.3.2	Aufsetzen eines Deckels auf eine Dose . . . . .	160
7.4	Evaluation der Taktzeitoptimierung . . . . .	163
7.4.1	Stochastische Ungenauigkeiten . . . . .	163
7.4.2	Konstante Ungenauigkeiten . . . . .	166
7.5	Taktzeitübersicht . . . . .	169
7.6	Zusammenfassung . . . . .	176
<b>8</b>	<b>Schlussbetrachtungen</b>	<b>177</b>
8.1	Zusammenfassung . . . . .	177
8.2	Ausblick . . . . .	179

<b>A</b>	<b>Parametrierung der atomaren Teilstrategien</b>	<b>181</b>
<b>B</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>187</b>
<b>C</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>191</b>
<b>D</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>193</b>