

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>v</b>
<b>Mathematische Notation</b>	<b>ix</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation . . . . .	1
1.1.1 Beweggründe für den Griff in die Kiste . . . . .	2
1.1.2 Charakterisierung von Bin-Picking Systemen . . . . .	4
1.2 Grundlegende Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit . . . . .	5
1.3 Gliederung der Arbeit . . . . .	7
<b>2 Stand der Technik und Forschung</b>	<b>9</b>
2.1 Einsatz von Robotersystemen . . . . .	9
2.2 Auslegung von Greifersystemen . . . . .	12
2.2.1 Greifertechnik . . . . .	12
2.2.2 Greifpunktbestimmung . . . . .	14
2.2.3 Trajektorienplanung . . . . .	15
2.3 Sensortechnik zur Bauteillokalisation . . . . .	19
2.3.1 Klassifizierung optischer Verfahren . . . . .	19
2.3.2 Stereo-Vision . . . . .	20
2.3.3 Strukturiertes Licht . . . . .	21
2.3.4 Laser-Scanning . . . . .	24
2.3.5 Time Of Flight . . . . .	25
2.3.6 Einsatz optischer Sensorik zur Bauteillokalisation . . . . .	27
2.4 Programmierung und Simulation von Industrierobotern . . . . .	28
2.5 Bin-Picking Systeme . . . . .	32
2.5.1 Systeme in der Forschung und Entwicklung . . . . .	32
2.5.2 Kommerzielle Systeme am Markt . . . . .	35
<b>3 Analyse von Anforderungen und Randbedingungen</b>	<b>39</b>
3.1 Anforderungen an die Planung und Auslegung . . . . .	39
3.2 Prozessspezifische Anforderungen und Randbedingungen . . . . .	42

3.3	Kommunikation zwischen Systemkomponenten	45
3.4	Anforderung an die Software	46
3.4.1	Anforderungen an das Offline-Framework	47
3.4.2	Anforderungen an das Online-Framework	48
3.5	Ableitung des Handlungsbedarfs	49
<b>4</b>	<b>Universelles Software-Framework DirectControl 3</b>	<b>53</b>
4.1	Systemarchitektur des Software-Frameworks	53
4.1.1	Technische Basis der Plattform	54
4.1.2	Zentrale Komponenten und Schnittstellen	56
4.1.3	Informationsaustausch innerhalb von DirectControl 3	57
4.1.4	Einsatz existierender Bibliotheken und Bereitstellung von Basisstrukturen	58
4.2	Auslegung und Planung robotergestützter Arbeitszellen	60
4.2.1	Grafische Benutzungsschnittstelle	60
4.2.2	Konzept des Umweltmodells	63
4.2.3	Abbildung kinematischer Strukturen	64
4.3	Anwendungserweiterung	67
4.3.1	Registrierung von Addins zur Laufzeit	69
4.3.2	Registrierung von Komponenten zur Laufzeit	70
4.3.2.1	Nutzung von MEF in DirectControl 3	72
4.3.2.2	Praktisches Anwendungsbeispiel	72
4.4	Realisierung funktionaler Erweiterungen	74
4.4.1	Anbindung von 3D-Visualisierung	74
4.4.2	Methoden zum Datenaustausch	76
4.4.2.1	Einsatz von AutomationML als standardisierte Datenbasis	77
4.4.2.2	Integration von CAD-Modulen	78
4.4.2.3	Effiziente Verarbeitung von COLLADA-Dokumenten	80
4.4.3	Kollisionsdetektion und Physiksimulation	85
4.4.4	Integration der Bewegungssimulation	87
4.4.4.1	Bereitstellung allgemeiner Strukturen	88
4.4.4.2	Integration von RCS-Modulen	89
4.4.5	Zusammenfassung	90
<b>5</b>	<b>Konzept und Umsetzung einer Bin-Picking Systemarchitektur</b>	<b>93</b>
5.1	Konzipierung des Bin-Picking Frameworks	94
5.2	Modularisierung und Architektur	96
5.2.1	Schichten- und Kommunikationsmodell	96
5.2.2	Software-Architektur des Bin-Picking Frameworks	97
5.2.3	Konfiguration und Parametrierung der Systemkomponenten	101
5.3	Kommunikation und Synchronisation der Sub-Systeme	103

5.3.1	Anbindung an eine Zellensteuerung	103
5.3.2	Prozessablauf und Kommunikation bei der Initialisierung	106
5.3.3	Prozessablauf und Kommunikation bei Bauteilanforderung	108
5.4	Monitoring und Diagnose	109
5.5	Zusammenfassung	113
<b>6</b>	<b>Prototypische Umsetzung und Verifikation</b>	<b>115</b>
6.1	Nutzung vorhandener Systemkomponenten	116
6.2	Verifikation an einer virtuellen Versuchsumgebung	119
6.2.1	Auslegung der Anlage in der virtuellen Versuchsumgebung	119
6.2.2	Realisierung notwendiger Software-Module	120
6.2.3	Virtuelle Befüllung von Kisten	124
6.2.4	Strategien zur Bauteillokalisation	125
6.2.5	Bahnplanung und Bauteilentnahmen	127
6.2.6	Simulation der SPS- und Roboterkommunikation	131
6.2.7	Assistentengeführte Parametrierung	135
6.2.8	Simulation von Bin-Picking	138
6.2.9	Exemplarische Simulationsergebnisse	141
6.2.9.1	Experiment 1 – Erreichbarkeitsprüfung	142
6.2.9.2	Experiment 2 – Entleerungsgrad	143
6.2.9.3	Experiment 3 – Taktzeitanalyse	144
6.3	Verifikation an einer realen Versuchsumgebung	145
6.3.1	Auslegung der realen Versuchsanlage	147
6.3.1.1	Kollisionsprüfung im Prozess	147
6.3.1.2	Kalibrierung des Vision-Systems	148
6.3.2	Realer Prozessablauf	149
6.3.3	Ergebnisse der realen Versuchsdurchführung	152
6.3.3.1	Entleerungsgrad	152
6.3.3.2	Taktzeitanalyse	153
6.4	Zusammenfassende Bewertung	153
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>157</b>
7.1	Zusammenfassung	157
7.2	Ausblick	159
<b>A</b>	<b>Vorgehen zur Inbetriebnahme</b>	<b>163</b>
A.1	Installation des Roboterprogrammes	163
A.2	Realisierung der SPS-Logik	166
A.3	Konfiguration und Parametrierung	168
<b>B</b>	<b>Zentrale Strukturen und Klassen</b>	<b>173</b>

B.1	DirectControl 3 . . . . .	173
B.1.1	Zentrale Manager-Klassen . . . . .	173
B.1.2	Vererbungshierarchie des Umweltmodells . . . . .	174
B.1.3	Abbildung kinematischer Ketten . . . . .	175
B.2	Bm-Picking Framework . . . . .	176
B.2.1	Nachrichtenverarbeitung . . . . .	177
B.2.2	Vererbungshierarchie der Konfigurationsklassen . . . . .	178
B.2.3	Automatische Validierung von Attributen . . . . .	181
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>183</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>		<b>205</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>		<b>209</b>