

# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	XI
Liste der verwendeten Formelzeichen	XIII

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Problemstellung	3
1.3	Literaturübersicht	6
1.4	Ziel und Inhalt der Arbeit	11
1.5	Anmerkungen zur Schreibweise	13
2	Grundlagen	15
2.1	Zuführsysteme	15
2.1.1	Manuelle Zuführung	16
2.1.2	Mechanisierte Zuführung	17
2.1.3	Semi-automatisierte Zuführung	18
2.1.4	Automatisierte Zuführung	19
2.2	Industrieroboter	21
2.2.1	Serielle Industrieroboter	22
2.2.2	Parallelkinematiken	23
2.2.3	Greifsystem des Roboters	23
2.3	Generierung von 3D-Sensordaten	25
2.3.1	Berührungslose 3D-Entfernungsmessverfahren	26
2.3.2	Kinematiken zur Bewegung von Entfernungsmesssystemen	28
2.4	Werkstückdefinition	29
2.4.1	Referenzaufnahmen	29
2.4.2	Regelgeometrische Grundformen	30

2.4.3	Flächenmodell .....	30
2.5	Interessante Punkte .....	31
2.6	Hough-Transformation .....	33
2.7	Heuristische Suchverfahren .....	34
2.7.1	Optimierungsverfahren .....	34
2.7.2	Baumstrukturen .....	35
2.7.3	Informierte und uninformierte Baumsuchverfahren .....	36
3	Suchraum der Objektlageerkennung .....	38
3.1	Bildung einer Suchmenge .....	38
3.1.1	Suchbereich .....	38
3.1.2	Koordinatensysteme .....	42
3.1.3	Parametrisierung von Werkstücklagen .....	43
3.1.4	Diskretisierung von Werkstücklagen .....	49
3.1.5	Beschränkung .....	55
3.1.6	Metrik und Nachbarschaft .....	56
3.1.7	Komplexitätsbetrachtung .....	58
3.2	Strukturierung der Suchmenge .....	61
3.2.1	Betrachtung der Oberflächensichtbarkeit .....	61
3.2.2	Beschreibung der Werkstücklage über interessante Punkte .....	65
3.2.3	Notwendige Eigenschaften interessanter Punkte .....	67
3.2.4	Lokale Extremwerte als interessante Punkte .....	69
3.2.5	Eignung lokaler Extremwerte als interessante Punkte .....	72
3.2.6	Repräsentierung durch Entscheidungsbaum .....	73
3.2.7	Kaskadierung von Entscheidungsbäumen .....	75
3.3	Filterung der Suchmenge .....	78
3.4	Ergebnisse .....	80
3.4.1	Diskretisierungsschrittweite .....	80
3.4.2	Berechnungsdauer der Sichtbarkeit .....	83
3.4.3	Interessante Punkte in Sensormesswerten .....	84
4	Suchstrategie der Objektlageerkennung .....	87
4.1	Bestensuche .....	87
4.1.1	Ablaufübersicht .....	88
4.1.2	Evaluierungsfunktion .....	89
4.2	Vorrangwarteschlange .....	90

4.2.1	Operatoren .....	91
4.2.2	Unter-Vorrangwarteschlangen .....	92
4.2.3	Vorsortierung.....	94
4.2.4	Sortiervverfahren .....	96
4.3	Evaluierung interessanter Punkte .....	97
4.4	Evaluierung relativer Werkstücklagen .....	99
4.4.1	Akkumulatorraum.....	100
4.4.2	Stimmabgaben über Sensormesswerte .....	101
4.4.3	Abstimmungsdatenbank .....	102
4.4.4	Abstimmungsergebnis .....	104
4.4.5	Annahme- und Ablehnungsbereich .....	107
4.4.6	Evaluierungsfunktion .....	109
4.5	Erprobung im industriellen Einsatz .....	112
4.5.1	Einlernen neuer Werkstücke.....	112
4.5.2	Entnahmeplanung.....	114
4.5.3	Ablaufsteuerung .....	116
4.6	Ergebnisse.....	118
4.6.1	Evaluierung interessanter Punkte .....	118
4.6.2	Evaluierung relativer Werkstücklagen .....	119
4.6.3	Sortiervorgänge .....	122
4.6.4	Anzahl expandierter Baumknoten .....	124
4.6.5	Anzahl gefundener Werkstücke .....	124
4.6.6	Dauer der Lageerkennung .....	125
4.7	Diskussion und Bewertung der Ergebnisse .....	127
5	Zusammenfassung und Ausblick .....	129
	Literaturverzeichnis .....	132