

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	Metric 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	Sortierverfahren	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	Sortievorgänge	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