

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Problemstellung.....	2
1.2	Zielsetzung der Arbeit.....	4
1.3	Aufbau und Kapitelübersicht.....	5
2	Analyse der Layoutplanung für Roboter-Fertigungszellen.....	6
2.1	Komponenten und Fertigungsaufgaben für Roboter-Fertigungszellen.....	6
2.1.1	Komponenten und Betriebsmittel in Roboter-Fertigungszellen.....	6
2.1.2	Fertigungsvorgänge für kooperierende Roboter.....	8
2.1.3	Strukturen für Fertigungszellen und Fertigungssysteme.....	10
2.1.4	Handhabungs- und Fertigungsvorgänge in Fertigungszellen.....	10
2.1.5	Bewegliche und mobile Betriebsmittel in Fertigungszellen.....	12
2.2	Planungsaufgaben bei dem Entwurf von Roboter-Fertigungszellen.....	12
2.2.1	Konfigurierung und Aktionsplanung.....	13
2.2.2	Layoutplanung und Bewegungsplanung.....	13
2.2.3	Planungs- und Bewertungskriterien für die Layoutplanung.....	15
2.3	Planungsmodelle für die Layoutplanung.....	17
2.3.1	Das statische Planungsmodell.....	17
2.3.2	Modelle mit Bewegungsplanung.....	18
2.3.3	Modelle mit kollisionsfreier Bewegungsplanung.....	18
2.3.4	Modelle für die Werkstückhandhabung.....	19
2.3.5	Modelle für mehrere Roboter in einer Zelle.....	19
2.4	Automatisierung des Planungsvorgangs.....	20
2.5	Zusammenfassung.....	22
3	Stand der Technik.....	23
3.1	Grafisch-interaktive Robotersimulationssysteme.....	23
3.1.1	Interaktive Platzierung der Betriebsmittel.....	23
3.1.2	Analytische Standortbestimmung einzelner Betriebsmittel.....	24
3.1.3	Aktuelle Trends bei Roboter-Simulationssystemen.....	24
3.2	Planungsverfahren für räumliche Anordnungsprozesse.....	25
3.2.1	Modelle für die räumliche Betriebsmittelanordnung.....	25
3.2.1.1	Quadratic-Assignment-Problem QAP.....	26
3.2.1.2	Quadratic-Set-Covering-Problem QSP.....	27
3.2.1.3	Weitere Modelle für Zuordnungsprobleme.....	28
3.2.2	Gliederung der Verfahren.....	28
3.2.2.1	Aufbau der Zielfunktion.....	28
3.2.2.2	Art der Transportmengen und Flächenangaben.....	29
3.2.2.3	Aufbau des Verfahrens zur Wegemessung.....	29

3.2.2.4	Art der Einplanung von Verkehrswegen.....	29
3.2.2.5	Art des Anordnungsalgorithmus.....	29
3.2.3	Lösungsmethoden für Anordnungsprobleme	30
3.2.3.1	Branch-and-bound	30
3.2.3.2	Heuristische Verfahren	32
3.2.3.3	Deterministisch sequentielle Verfahren	33
3.2.3.4	Methode der kontrahierenden Umgebungen	34
3.3	Wissensbasierte Layoutplanungssysteme.....	35
3.3.1	Das Planungssystem IFLAPS.....	36
3.3.2	Das Planungssystem FADES	36
3.3.3	Das Planungssystem EXIST	37
3.3.4	Das Planungssystem KBML	37
3.3.5	Das Planungssystem QLAARP	38
3.3.6	Konfigurierungs-Expertensysteme	38
3.4	Zusammenfassung.....	39
4	Ein Systementwurf für die automatische Layoutplanung	40
4.1	Betrachtete Aspekte der Layoutplanung für Roboter-Fertigungszellen.....	40
4.1.1	Ansätze für Verbesserungen der Layoutplanung.....	40
4.1.2	Ausgeklammerte Planungsaufgaben.....	42
4.1.3	Unberücksichtigte Planungsprobleme.....	42
4.2	Das Realisierungskonzept für die automatische Layoutplanung	42
4.2.1	Eigenschaften des Planungskonzepts	43
4.2.2	Grundalgorithmen für die Layoutplanung	43
4.2.3	Architektur eines Planungssystems für die Layoutplanung.....	46
4.2.4	Wissensbasierte Ansätze im Planungskonzept	47
4.2.5	Eine Entwurfsumgebung zur Umsetzung des Planungskonzepts.....	49
4.3	Das Umweltmodell für das Planungskonzept	49
4.3.1	Modellierung von Zelle, Betriebsmitteln und Fertigungsaufgabe.....	49
4.3.2	Definition der Bezugssysteme.....	51
4.4	Zusammenfassung.....	55
5	Kinematische Layoutplanung	57
5.1	Bedeutung der kinematischen Layoutplanung.....	57
5.1.1	Notwendige Berücksichtigung des Roboter-Arbeitsraums	57
5.1.2	Auswirkungen auf die Planungsautomatisierung	58
5.2	Die Verwendung des Konfigurationenraums.....	59
5.2.1	Der Gelenkwinkel-Konfigurationenraum.....	59
5.2.2	Der kartesische Konfigurationenraum.....	60
5.2.3	Definitionen zum kartesischen Konfigurationenraum	62
5.2.4	Koordinatensysteme für den kartesischen Konfigurationenraum.....	65
5.2.5	Unterschiedliche Hauptachsenstrukturen	67

5.2.6	Eigenschaften des kartesischen Konfigurationsraums	69
5.3	Planungsoperationen im kartesischen Konfigurationsraum	70
5.3.1	Transformationen in den Konfigurationsraum	72
5.3.2	Transformationen aus dem Konfigurationsraum	73
5.3.3	Erreichbarkeitstest im Konfigurationsraum	75
5.3.4	Verfahrbarkeitstest im Konfigurationsraum	77
5.3.5	Anfahrbarkeitstests im Konfigurationsraum	79
5.4	Bewertungsfunktionen im kartesischen Konfigurationsraum	82
5.4.1	Bewertung von Punkten im Konfigurationsraum	83
5.4.2	Bewertung von Bahnen und Standorten im Konfigurationsraum	84
5.4.3	Einschränkung der Bewegungen im Konfigurationsraum	85
5.5	Ein Bahnplanungsverfahren für die Layoutplanung	86
5.5.1	Anforderungen an ein layoutorientiertes Bahnplanungsverfahren	86
5.5.2	Verfahren der kürzesten Strecke	87
5.5.3	Überlagerte Potentialfelder	89
5.5.4	Behandlung auftretender lokaler Minima	91
5.5.5	Vergleich von bewerteten und unbewerteten Bahnen	93
5.6	Auswirkungen von Platzierungsoperationen im Konfigurationsraum	95
5.7	Zusammenfassung	95
6	Methode der automatisierten Layoutplanung	97
6.1	Grundidee der automatisierten Planung	97
6.2	Definitionen zur Layoutplanung	98
6.2.1	Beschreibung der Komponenten und der Fertigungszelle	98
6.2.2	Beschreibung der Grundoperationen	98
6.2.3	Beschreibung der Fertigungsaufgabe	100
6.2.4	Die Beschreibung der Planungszustände	102
6.3	Bewegungsorientierte Planungsfunktionen	103
6.3.1	Platzierung eines Betriebsmittels	103
6.3.2	Berechnung und Bewertung der optimalen Bewegungsabfolge	106
6.3.3	Einfluß der Betriebsmittel-Platzierung auf geplante Bewegungen	110
6.3.4	Einfluß der Betriebsmittel-Entfernung auf geplante Bewegungen	111
6.3.5	Bewertung von Standorten und Layoutvarianten	112
6.3.6	Aufwandsbetrachtung bei Platzierungsoperationen	113
6.4	Geometrische Planungsfunktionen	113
6.4.1	Festlegung der Reihenfolge	114
6.4.2	Anordnungen in der Zelle	115
6.4.3	Anordnungen im Arbeitsraum eines Roboters	118
6.4.4	Prinzipielles Vorgehen bei der Standortsuche und Optimierung	119
6.5	Umsetzung der automatischen Layoutplanung	121
6.6	Anmerkungen zu heuristischen Planungsmethoden	123

6.7 Zusammenfassung.....	124
7 Eine Entwurfsumgebung für die Layoutplanung.....	125
7.1 Anforderungen an eine Entwurfsumgebung.....	125
7.1.1 Eigenschaften von Layoutplanungsaufgaben.....	125
7.1.2 Einsatz von Regeln zur Planungskontrolle	126
7.1.3 Unterschiede zu Ansätzen in Konstruktions-Expertensystemen	127
7.2 Die Beschreibungssprache CDL	127
7.2.1 Datentypen und Operatoren in CDL	128
7.2.2 Das Frame-Konzept in CDL.....	128
7.2.3 Regeln in CDL	129
7.2.4 Kontrollstrukturen in CDL	129
7.2.5 Der Inferenzmechanismus für CDL	129
7.2.6 Schnittstellen in CDL.....	130
7.2.7 Anwendungen der Sprach-Konzepte auf die Layoutplanung.....	130
7.3 Implementierung.....	131
7.4 Zusammenfassung.....	131
8 Zusammenfassung und Ausblick.....	133
Literaturverzeichnis.....	135
Liste der Symbole.....	142
Anhang A: CDL-Syntax in EBNF.....	147