

**Christoph Woenckhaus**

**Rechnergestütztes System  
zur automatisierten  
3D-Layoutoptimierung**

Mit 81 Abbildungen

**Springer-Verlag**  
**Berlin Heidelberg New York London Paris**  
**Tokyo HongKong Barcelona Budapest 1994**

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung . . . . .	1
2 Stand der Technik . . . . .	4
2.1 Begriffe und Definitionen . . . . .	4
2.2 Flexible Fertigungs- und Montagezellen . . . . .	7
2.3 Die grafische 3D-Simulation . . . . .	8
2.3.1 Übersicht . . . . .	8
2.3.2 Das Simulationssystem USIS . . . . .	10
2.4 Numerische Optimierungsverfahren . . . . .	12
2.4.1 Übersicht . . . . .	12
2.4.2 Verfahren für lineare Systeme . . . . .	13
2.4.3 Verfahren für nichtlineare Systeme . . . . .	14
2.4.3.1 Direkte Suchverfahren . . . . .	15
2.4.3.2 Gradientenverfahren . . . . .	17
2.4.3.3 Verfahren der zufälligen Suche . . . . .	18
2.5 Numerische Optimierung von Modellen . . . . .	21
2.6 Zusammenfassung . . . . .	23
3 Konzeption des Gesamtsystems . . . . .	24
3.1 Zielsetzung . . . . .	24
3.2 Aufgabenstellung bei der Zellenauslegung . . . . .	25
3.2.1 Darstellung der Optimierungsaufgabe . . . . .	25
3.2.2 Off-Line-Programmierung . . . . .	26
3.2.3 Relative Bewegungsprogrammierung . . . . .	27

3.2.4	Parametrisierung des gesamten Zellaufbaus . . . . .	30
3.3	Das Simulationsmodell als Zielfunktion . . . . .	33
3.3.1	Einordnung in das Gesamtkonzept . . . . .	33
3.3.2	Einteilung von Zellenkomponenten . . . . .	34
3.3.3	Berücksichtigung von Randbedingungen . . . . .	36
3.4	Bewertung von Lösungsvarianten . . . . .	37
3.4.1	Einordnung in das Gesamtkonzept . . . . .	37
3.4.2	Bewertung von Zielgrößen . . . . .	38
3.4.3	Bewertung von Restriktionsverletzungen . . . . .	39
3.4.4	Berechnung des Gesamtgütewertes . . . . .	40
3.5	Auswahl geeigneter Optimierungsverfahren . . . . .	41
3.5.1	Einordnung in das Gesamtkonzept . . . . .	41
3.5.2	Verfahrensauswahl . . . . .	42
3.5.2.1	Variation von Standortkoordinaten . . . . .	43
3.5.2.2	Vertauschen von Standortangaben . . . . .	44
3.5.2.3	Variation des Bewegungsablaufs . . . . .	45
3.6	Das Gesamtkonzept . . . . .	46
4	Parametrisierung des Zellenmodells . . . . .	47
4.1	Zielsetzung . . . . .	47
4.2	Parametrisierung allgemeiner Randbedingungen . . . . .	48
4.2.1	Einhaltung von Suchräumen . . . . .	48
4.2.2	Definition von Sperrzonen . . . . .	49
4.2.3	Kollisionsfreiheit . . . . .	49
4.3	Robotereinsatzplanung . . . . .	52

4.3.1	Das Robotermodell . . . . .	52
4.3.2	Zielgrößen bei der Robotereinsatzplanung . . . . .	53
4.3.2.1	Erreichbarkeit . . . . .	53
4.3.2.2	Kollisionsfreiheit . . . . .	55
4.3.2.3	Verfahrwege . . . . .	55
4.3.2.4	Taktzeit . . . . .	58
4.3.2.5	Wiederhol- und Bahngenauigkeit . . . . .	59
4.3.2.6	Belastungen . . . . .	60
4.3.3	Einflußparameter bei der Robotereinsatzplanung . . . . .	60
4.4	Gestaltung manueller Arbeitsplätze . . . . .	62
4.4.1	Aufbau des Werkermodells . . . . .	62
4.4.2	Zielgrößen bei der Gestaltung manueller Arbeitsplätze . . . . .	63
4.4.3	Einflußparameter der Gestaltung manueller Arbeitsplätze . . . . .	64
4.5	Sensoreinsatzplanung . . . . .	64
4.5.1	Das Sensormodell . . . . .	64
4.5.2	Zielgrößen bei der Sensoreinsatzplanung . . . . .	65
4.5.3	Einflußparameter bei der Sensoreinsatzplanung . . . . .	67
4.6	Planung von Fertigungsprozessen . . . . .	67
4.6.1	Modell eines Fertigungsprozesses . . . . .	67
4.6.2	Zielgrößen bei der Laserbearbeitung . . . . .	68
4.6.3	Einflußparameter bei der Laserbearbeitung . . . . .	69
5	Implementierung des Gesamtsystems . . . . .	72
5.1	Übersicht . . . . .	72
5.2	Parametrisierung . . . . .	74

5.2.1	Definition der Optimierungsaufgabe . . . . .	74
5.2.2	Festlegung des Bewegungsablaufs . . . . .	76
5.2.3	Automatische Analyse der Optimierungsaufgabe . . . . .	79
5.3	Die 3D-Simulation als Zielfunktion . . . . .	81
5.3.1	Anordnung der Komponenten . . . . .	82
5.3.2	Automatische Programmanpassung . . . . .	82
5.3.3	Bestimmung der Zielgrößen . . . . .	84
5.3.4	Erfassen der Randbedingungen . . . . .	86
5.4	Implementierung der Optimierungsumgebung . . . . .	92
5.4.1	Einbindung der Optimierungsverfahren . . . . .	92
5.4.1.1	Einbindung von Vektoroptimierungsverfahren . . . . .	93
5.4.1.2	Einbindung von Permutationsverfahren . . . . .	95
5.4.1.3	Einbindung genetischer Verfahren . . . . .	96
5.4.2	Das Bewertungsmodul . . . . .	99
5.4.2.1	Gewichtung und Normierung einzelner Zielgrößen . . . . .	99
5.4.2.2	Bewertung von Restriktionsverletzungen . . . . .	102
5.4.2.3	Bildung des Gesamtgütewertes . . . . .	104
5.5	Das Gesamtsystem . . . . .	105
6	Anwendungsbeispiele . . . . .	106
6.1	Layoutoptimierung einer flexiblen Montagezelle . . . . .	106
6.1.1	Anordnungsoptimierung von Roboter und Peripherie . . . . .	106
6.1.2	Einfluß der Kollisionsrechnung . . . . .	109
6.1.3	Standortoptimierung eines Lasersensors . . . . .	112
6.2	Optimierung manueller Arbeitsplätze . . . . .	113

6.3	Prozeßoptimierung am Beispiel der Laserbearbeitung . . . . .	116
6.4	Automatisierte Zellenkonfiguration . . . . .	118
7	Ausblick . . . . .	122
7.1	Optimierungsverfahren . . . . .	122
7.2	Erweiterungen des Simulationsmodells . . . . .	123
8	Zusammenfassung . . . . .	125
9	Literatur . . . . .	126