

Forschungsberichte

iwb

Band 168

Ulrich Roßgoderer

***System zur effizienten Layout-
und Prozessplanung von
hybriden Montageanlagen***

***herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart***

Herbert Utz Verlag

UTZ

Forschungsberichte iwb

Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
Technische Universität München
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist
bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2002

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2002

ISBN 3-8316-0154-2

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
Tel.: 089/277791-00 · Fax: 089/277791-01

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	MOTIVATION	1
1.2	BETRACHTUNGSGEGENSTAND & ZIELSETZUNG	3
1.3	VORGEHENSWEISE	4
2	STAND DER TECHNIK	5
2.1	ÜBERSICHT	5
2.2	FLEXIBLE MONTAGESYSTEME	6
2.3	MONTAGEPLANUNGSMETHODE	8
2.4	PLANUNGSWERKZEUGE ZUR MONTAGESYSTEMGESTALTUNG	12
2.4.1	Übersicht	12
2.4.2	Technologien zur Modellierung und Bewertung von 3D- Simulationsmodellen	12
2.4.2.1	Offline-Programmierung von Industrierobotern	12
2.4.2.2	Simulation manueller Montagetätigkeiten	14
2.4.2.3	Virtual Reality Komponenten	16
2.4.2.4	Ansätze zur Planungsautomatisierung	18
2.4.3	Rechnergestützte Werkzeuge zur Montagesystemplanung	22
2.4.3.1	Montageplanungssysteme	22
2.4.3.2	3D-Simulationssysteme	24
2.4.3.3	Virtual Reality Systeme	25
2.5	ZUSAMMENFASSUNG DES STANDES DER TECHNIK	31
3	KONZEPTION UND SYSTEMENTWURF	34
3.1	ÜBERSICHT	34
3.2	ANNAHMEN FÜR DAS ZU KONZIPIERENDE SYSTEM	35
3.2.1	Planungsobjekt: Hybride Montagesysteme	36
3.2.2	Planungsmethode: Simultaneous Engineering	36
3.2.3	Planungshilfsmittel: 3D-Simulationsmodell	37
3.3	TRENNUNG VON STRUKTURELLEN UND RÄUMLICHEN PLANUNGSINHALTEN	38
3.4	KOMBINATION VON ALGORITHMEN UND VR-INTERAKTION	41
3.4.1	Algorithmen zur Planungsautomatisierung	42
3.4.2	VR-Techniken als Interaktionshilfsmittel	45
3.4.3	Vergleich und Kombination von Planungsautomatisierung und Interaktion	47
3.5	DREISTUFIGE METHODE ZUR 3D-MONTAGEPLANUNG	48
3.5.1	Übersicht – Systemunterteilung	48
3.5.2	Layouterstellung	50
3.5.2.1	Layoutstruktur als Eingangsgröße aus der Strukturplanung	50
3.5.2.2	Kombination von Algorithmen und Interaktion	51
3.5.2.3	Ergebnis der Layouterstellung	52
3.5.3	Prozessmodellierung	52
3.5.3.1	Prozessstruktur als Eingangsgröße aus der Strukturplanung	52
3.5.3.2	Kombination von Algorithmen und Interaktion	53
3.5.3.3	Ergebnis der Prozessmodellierung	54
3.5.4	Anordnungsoptimierung	55
3.6	SOFTWARETECHNISCHE UMSETZUNG	57
3.7	ZUSAMMENFASSUNG	59
4	LAYOUTERSTELLUNG	61
4.1	ÜBERSICHT	61
4.2	AUFGABEN DER LAYOUTERSTELLUNG	62
4.3	PLANUNG DER LAYOUTSTRUKTUR	62
4.3.1	Bestandteile einer Montagestation	62
4.3.2	Prozessorientierte Layouterstellung	63
4.3.3	Systemtechnische Umsetzung der Layoutstrukturplanung	66

Inhaltsverzeichnis

4.4	PLANUNG DER RÄUMLICHEN ANORDNUNG	68
4.4.1	<i>Grundsätzliches Vorgehen</i>	68
4.4.2	<i>Import der CAD-Daten</i>	68
4.4.3	<i>Analyse der anordnungsbestimmenden Features</i>	69
4.4.4	<i>Automatische Generierung einer ersten Anordnung</i>	71
4.4.5	<i>Interaktive Modifikation der Anordnung</i>	73
4.4.6	<i>Systemtechnische Umsetzung der räumlichen Layouterstellung</i>	74
4.5	ERGEBNIS DES PLANUNGSSCHRITTS „LAYOUTERSTELLUNG“	75
5	PROZESSMODELLIERUNG HYBRIDER MONTAGEANLAGEN	77
5.1	ÜBERSICHT	77
5.2	BEDEUTUNG DER PROZESSMODELLIERUNG	77
5.3	MODELLIERUNG AUTOMATISierter PROZESSE	79
5.3.1	<i>Grundsätzliches Vorgehen</i>	79
5.3.2	<i>Umsetzung der Elementarprozesse in Bewegungsabläufe</i>	80
5.3.3	<i>Verknüpfung der Bewegungsabläufe mit dem Montagevorgangsplan</i>	88
5.4	MODELLIERUNG MANUELLER BEWEGUNGSABLÄUFE	89
5.4.1	<i>Anforderungen an das zu realisierende VR-System</i>	89
5.4.2	<i>Hardware-Aufbau des realisierten VR-Systems</i>	90
5.4.3	<i>Software-Aufbau des realisierten VR-Systems</i>	92
5.4.4	<i>Anwendung zur Modellierung manueller Montageprozesse</i>	96
5.4.4.1	Einstellung der Körperhaltung	96
5.4.4.2	Greifen und Loslassen von Objekten	98
5.4.4.3	Analyse der Bewegungen	99
5.5	SYSTEMTECHNISCHE UMSETZUNG	99
5.6	ERGEBNIS DES PLANUNGSSCHRITTES PROZESSMODELLIERUNG	100
6	ANORDNUNGSOPTIMIERUNG	101
6.1	ÜBERSICHT	101
6.2	GRUNDLAGEN DER ANORDNUNGSOPTIMIERUNG	102
6.3	DEFINITION DER OPTIMIERUNGSAUFGABE	106
6.3.1	<i>Automatisierte Festlegung der Optimierungsvariablen</i>	106
6.3.2	<i>Festlegung der Zielfunktion</i>	109
6.3.2.1	Zielfunktion für allgemeine kinematische Bewegungen	109
6.3.2.2	Zielfunktionen für manuelle Tätigkeiten	110
6.3.3	<i>Festlegung der Randbedingungen</i>	112
6.3.4	<i>Prozessanpassung</i>	113
6.4	DURCHFÜHRUNG DER OPTIMIERUNG	114
6.4.1	<i>Hierarchische Optimierung</i>	115
6.4.2	<i>Grob- und Feinoptimierung</i>	116
6.5	SYSTEMTECHNISCHE UMSETZUNG	120
6.6	ERGEBNIS DER ANORDNUNGSOPTIMIERUNG	121
7	ANWENDUNGSBEISPIELE	122
7.1	ÜBERSICHT	122
7.2	AUTOMATISIERTE LAYOUT- UND PROZESSPLANUNG	123
7.2.1	<i>Layouterstellung</i>	123
7.2.2	<i>Prozessmodellierung</i>	125
7.2.3	<i>Layoutoptimierung</i>	127
7.2.4	<i>Ergebnis der automatisierten Layout- und Prozessplanung</i>	128
7.3	EINSATZ DER OPTIMIERUNGsalgorithmen	129
7.3.1	<i>Anwendung und Bewertung genetischer Algorithmen</i>	130
7.3.2	<i>Optimierung manueller Arbeitsplätze</i>	132
7.4	VR GESTÜTZTE INTERAKTION	133
7.4.1	<i>Erzeugung manueller Montageabläufe</i>	133
7.4.2	<i>Erzeugung automatisierter Bewegungsabläufe</i>	137
7.5	BEWERTUNG DES SYSTEMS	139

8	ZUSAMMENFASSUNG	142
9	LITERATURVERZEICHNIS	145

1 Einleitung

1.1 Motivation

Das produzierende Gewerbe der neunziger Jahre ist geprägt durch Schlagworte wie „Globalisierung“, „Simultaneous/Concurrent Engineering“ und „Innovationsprozesse“. Damit Unternehmen in einem von weltweitem Wettbewerb geprägten Markt erfolgreich sein können, stehen sowohl Produktion als auch Entwicklung auf dem Prüfstand. Konzentrierten sich die Bestrebungen, wettbewerbsfähig zu bleiben, bislang vornehmlich auf die Produktivität, stehen nun zunehmend Geschäftsprozesse in Entwicklung und Planung von Produktionsanlagen im Vordergrund. Durch Einführung entsprechender Planungsmethoden und –werkzeuge soll bei verkürzter Planungszeit gleichzeitig die Qualität der Planungsergebnisse erhöht werden.

Ein wesentliches Hilfsmittel, um dieses Ziel zu erreichen, stellt die rechnergestützte Simulation (VDI-RICHTLINIE 3633 1996) von Produktionsanlagen dar. Anhand eines Simulationsmodells können die entscheidenden Eigenschaften einer Anlage zu einem sehr viel früheren Zeitpunkt ermittelt werden, als dies bislang der Fall ist (REINHART & VON PRAUN 1998). Während nach heutigem Stand Anlagen zum Teil oder komplett als realer Prototyp (z.B. in Form einer Vorserienanlage im Automobilbau) errichtet werden, um Aussagen über zu erzielende Produktionszeit und –qualität treffen zu können, sollen in Zukunft derartige Untersuchungen hauptsächlich an Simulationsmodellen stattfinden. Das zu erwartende Verbesserungspotential hinsichtlich Planungszeit, -kosten und –qualität ist beträchtlich. So können nach EVERSHEIM U.A. (1999) bei der Entwicklung von Drehgestellen von Schienenfahrzeugen durch die Einführung von 3D-CAD und Digital Mock-Up 15% der Konstruktionsstunden eingespart und die Durchlaufzeiten um rund 20% verkürzt werden. Ein anderes Beispiel geben EBBESMEYER U.A. (1999). Durch die Nachbildung einer Kraftwerksanlage im Rechner konnte zum einen das üblicherweise angefertigte Kunststoffmodell im Maßstab 1:25 eingespart werden. Ein einziges dieser realen Modelle verursacht Kosten in Höhe von 5 Millionen US-Dollar. Zusätzlich konnte das Design Review durch den Einsatz des virtuellen anstatt des realen Modells von fünf auf zwei Tage gekürzt werden. Innerhalb eines Design Reviews werden

fachgruppenübergreifend Konstruktionsalternativen erörtert und die Stimmigkeit verschiedener Teilmodelle untereinander geprüft.

Beide Untersuchungen konzentrieren sich auf das sogenannte „Virtuelle Produkt“ (vgl. SPUR & KRAUSE 1997, S. 3). Im einen Fall ist dieses Produkt ein Drehgestell im anderen eine Kraftwerksanlage. Zu einer umfassenden virtuellen Modellierung muss jedoch auch die Produktion miteinbezogen werden. Vor diesem Hintergrund definieren REINHART U.A. (1999B) den Begriff der „Virtuellen Produktion“ als die durchgängige Planung, Validierung und Steuerung von Produktionsprozessen und -anlagen mit Hilfe digitaler Modelle. Handlungsbedarf sehen die Autoren zum einen in der Weiterqualifikation der Planungswerkzeuge und Simulationsverfahren auf allen Ebenen, sei es die Fabrik-, Anlagen oder Detailprozessplanung. Zum anderen wird die Notwendigkeit der Systemintegration betont. Dies betrifft sowohl die Verknüpfung der einzelnen CA-Technologien als auch die Einbindung in die Geschäftsprozesse der Unternehmen.

Wie wichtig die gemeinsame Betrachtung von virtuellem Produkt und virtueller Produktion ist, wird aus einer in NEUGEBAUER (2000) dargestellten Untersuchung deutlich. Demnach geben 92% der befragten Unternehmen die mangelnde montagegerechte Produktgestaltung als Hauptthemnis für den Einsatz von Automatisierungstechnik an. Da der Einsatz von Automatisierungstechnik jedoch zur Senkung der Montagekosten beitragen kann, wird hier auf ein entsprechendes Rationalisierungspotential verzichtet.

Während 3D-CAD-Systeme und Systeme zur Modellierung von digitalen Fabriken bereits verfügbar und für sich produktiv einsetzbar sind, stellt sich die Frage, weshalb die Systeme in Kombination in Unternehmen noch nicht wirkungsvoll eingesetzt werden. Eine mögliche Antwort geben REINHART & FELDMANN (1997). Im Rahmen einer Umfrage unter deutschen produzierenden Unternehmen wurden Stand und Perspektive der Simulationstechnik ermittelt. Auf die Frage, was an Simulationswerkzeugen verbessert werden sollte, wünschten sich 50% eine verbesserte Bedienbarkeit der Systeme um die Modellerstellung zu vereinfachen. Mit Abstand an zweiter Stelle wurde die Notwendigkeit der Weiterentwicklung von Schnittstellen zu anderen Systemen mit 18% genannt.

1.2 Betrachtungsgegenstand & Zielsetzung

Basierend auf der dargestellten Situation ist es Ziel dieser Arbeit, aufzuzeigen wie ein Rechnerwerkzeug gestaltet sein muss, welches in einem Simultaneous Engineering Prozess zur konstruktionsbegleitenden Planung eines Montagesystems eingesetzt werden kann. Das Werkzeug soll ausschließlich die räumliche Anordnungs- und Prozessplanung erleichtern. Andere Planungsaspekte, wie beispielsweise die der Logistik, sind nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Das Montagesystem wurde deswegen als Planungsobjekt gewählt, da es wie oben dargestellt, noch Rationalisierungspotential in der Produktion bietet. Neben der üblichen Fokussierung auf die Automatisierungstechnik ist es jedoch von ebenso entscheidender Bedeutung, dass auch manuelle Bewegungsabläufe geplant werden können. Denn gerade in Montagesystemen mit kleinen Losgrößen und/oder hoher Variantenanzahl ist der Einsatz automatisierter Lösungen nicht wirtschaftlich (KUBA 1997, S. 1). Werden innerhalb eines Montagesystems sowohl manuelle als auch automatisierte Montageverrichtungen durchgeführt, so spricht man von einem Hybriden Montagesystem (SELIGER 1992).

Das Rechnerwerkzeug soll sich zum einen die Potentiale rechnergestützter Simulationsmodelle zu nutze machen. Zum anderen sollen jedoch die erkannten Schwächen behoben werden. So ist darauf zu achten, dass das System konstruktionsbegleitend eingesetzt werden kann. Analysen, die an dem virtuellen hybriden Montagesystem durchgeführt werden, sollen in der Konstruktionsphase verfügbar sein und das Produktdesign dadurch frühzeitig absichern. Da solche Verifizierungen in kurzen Abständen notwendig sein können, ist darauf zu achten, dass das Anlagenmodell schnell aufgebaut werden kann. Dazu können Planungsautomatismen hilfreich genutzt werden, welche Teilaufgaben algorithmisch lösen können und in kurzer Zeit eine Vielzahl von Lösungsalternativen generieren können. Für die Planung komplexer Montageabläufe wie z.B. manueller Bewegungen ist der Einsatz von fortgeschrittenen Bedientechniken zur Interaktion mit dreidimensionalen Simulationsmodellen zu prüfen. Diese ermöglichen im Gegensatz zu Planungsautomatismen die Nutzung der Erfahrung von Anlagenplanern und Anlagenbedienern. Durch die Kombination von automatisierter und interaktiver Vorgehensweise soll die Zeit zur Erstellung des Simulationsmodells deutlich reduziert werden.

1.3 Vorgehensweise

Der in Kapitel 2 dargestellte Stand der Technik soll aufzeigen, welche Methoden und Systeme heute verfügbar sind, um die komplexe Thematik der Montagesystemplanung zu unterstützen. Aufgeteilt in Planungsobjekt, –methode und –werkzeuge werden Stärken und Defizite dargestellt und daraus die Anforderungen an das zu entwickelnde System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen abgeleitet.

Darauf aufbauend erfolgt in Kapitel 3 die Entwicklung des Konzeptes für das System. Es erfolgt eine Unterteilung in einzelne Systembestandteile und die Definition von Anforderungen an die jeweiligen Bausteine.

Kapitel 4 beschreibt den ersten Baustein: das Teilsystem zum Grundaufbau des Layouts eines Montagesystems. Mittels anordnungsdefinierender Features und Strukturinformationen erfolgt die erste Zusammenstellung der Betriebsmittel und Produktteile zu einem räumlichen Layout.

Daraufhin wird, wie in Kapitel 5 dargestellt, die Prozessplanung für die durchzuführende Montageaufgabe durchgeführt. Unter Verwendung von impliziter Offline-Programmierung und Einsatz von VR-Technologie erfolgt die Modellierung automatisierter und manueller Montageabläufe.

Die Analyse dieser Abläufe ist Basis für die in Kapitel 6 dargestellte Anordnungsoptimierung des Layouts.

In Kapitel 7 wird die Anwendung des Gesamtsystems anhand einiger ausgewählter Beispiele aus der Montagesystemplanung dargestellt und analysiert.

Kapitel 8 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die vorliegende Arbeit. Die erzielten Fortschritte werden ebenso aufgezeigt wie Möglichkeiten zur Erweiterung des Systems.