



Forschungsberichte · Band 29

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

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. J. Milberg



Winfried Pfrang

**Rechnergestützte
und graphische Planung
manueller und teilautomatisierter
Arbeitsplätze**

Mit 59 Abbildungen

**Springer-Verlag
Berlin Heidelberg GmbH 1990**

Dipl.-Ing. Winfried Pfrang
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb), München

Dr.-Ing. J. Milberg
o. Professor an der Technischen Universität München
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb), München

D 91

ISBN 978-3-540-52829-6 ISBN 978-3-662-09695-6 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-09695-6

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funk- sendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Ver- wendung, vorbehalten. Die Vergütungsansprüche des § 54, Abs. 2 UrhG werden durch die „Verwertungsgesellschaft Wort“, München, wahrgenommen.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1990

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1990

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- oder Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gesamtherstellung: Hieronymus Buchreproduktions GmbH, München
2362/3020-543210

Geleitwort des Herausgebers

Die Verbesserung der Fertigungsmaschinen, der Fertigungsverfahren und der Fertigungsorganisation zur Steigerung der Produktivität und Verringerung der Fertigungskosten ist eine ständige Aufgabe der Produktionstechnik. Die Situation in der Produktionstechnik ist durch abnehmende Fertigungslosgrößen und zunehmende Personalkosten sowie durch eine unzureichende Nutzung der Produktionsanlagen geprägt. Neben den Forderungen nach einer Verbesserung der Mengenleistung und der Arbeitsgenauigkeit gewinnt die Steigerung der Flexibilität von Fertigungsmaschinen und Fertigungsabläufen immer mehr an Bedeutung. In zunehmendem Maße werden Programme, Einrichtungen und Anlagen für rechnergestützte und flexibel automatisierte Produktionsabläufe entwickelt.

Ziel der Forschungsarbeiten am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München (*iwb*) ist die weitere Verbesserung der Fertigungsmittel und Fertigungsverfahren im Hinblick auf eine Optimierung der Arbeitsgenauigkeit und Mengenleistung der Fertigungssysteme. Dabei stehen Fragen der anforderungsgerechten Maschinenauslegung sowie der optimalen Prozeßführung im Vordergrund. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung fortgeschrittener Produktionsstrukturen und die Erarbeitung von Konzepten für die Automatisierung des Auftragsdurchlaufs. Das Ziel ist eine Integration der technischen Auftragsabwicklung von der Konstruktion bis zur Montage.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb* : Fertigungsverfahren, Werkzeugmaschinen, Fertigungsautomatisierung und Montageautomatisierung. In ihnen werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

Joachim Milberg

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand neben meiner Tätigkeit als Mitarbeiter am Institut für Montageautomatisierung GmbH (*ifm*).

Besonders danken möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. J. Milberg, dem Leiter des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) an der Technischen Universität München sowie des oben genannten Instituts, der mir die Bearbeitung der Thematik ermöglichte und durch kritische Anregungen und wertvolle Hinweise meine Arbeit stets wohlwollend unterstützte.

Herrn Prof. Dr. rer. nat. H. Schmidtke, dem Inhaber des Lehrstuhls für Ergonomie der Technischen Universität München, danke ich für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse und die Übernahme des Korreferats.

Desweiteren danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. G. Duelen am Doppelinstitut IPK / IWF Berlin für die kritische Durchsicht der Arbeit, den sich daraus ergebenden Anregungen sowie der Übernahme des zweiten Korreferats .

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Dr.-Ing C. Maier, dem Geschäftsführer des Instituts für Montageautomatisierung, der mir die Bearbeitung der vorliegenden Dissertation ermöglichte.

Schließlich möchte ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ifm und des iwb sowie allen Studenten, die mich bei der Erstellung der Arbeit unterstützt haben, recht herzlich bedanken.

Inhaltsverzeichnis

0. Abkürzungen und Formelzeichen	V
1. Einleitung, Stand der Forschung	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Stand der Forschung	2
1.2.1 Vorgehensweise zur Auslegung des Arbeitssystems	2
1.2.2 Vorhandene Planungsansätze	5
1.2.3 Planungshilfsmittel zur Auslegung automatisierter Mikroarbeitssysteme	8
1.2.4 Planungshilfsmittel manueller Mikroarbeitssysteme	9
1.2.4.1 Situationsanalyse	9
1.2.4.2 Kinematikmodelle zur Simulation anthropo- metrischer Größen	13
1.2.4.3 Graphische Gestaltung des Arbeitsplatzes	16
1.2.4.4 Bestimmung der Montagezeit manueller Arbeitsmethoden	17
1.2.5 Folgerungen aus der Analyse der vorhandenen Planungsansätze	21
1.3 Ziel der Arbeit	22
2. Analyse der Planungsaufgabe manueller und teilautomatisierter Mikroarbeitssysteme	25
2.1 Begriffsdefinitionen	25
2.2 Strukturierung des Planungsablaufes im Bereich der Mikroarbeitssysteme	27
2.3 Planungsbeispiel einer flexiblen, teilautomatisierten Montagelinie	29
2.4 Anforderungen an ein System zur rechnergestützten Planung manueller und teilautomatisierter Mikroarbeitssysteme	32
2.5 Ansatz eines graphischen Simulationsystems zur Auslegung manueller und teilautomatisierter Mikroarbeitssysteme	34

3. Systemgrenzen und Anforderungen an ein Modell zur Planung manueller und teilautomatisierter Mikroarbeitsysteme	36
3.1 Eingliederung des Planungssystems	36
3.2 Aufgabenschwerpunkte	39
3.3 Zielsetzungen	40
3.4 Modell eines Planungssystems manueller Montagearbeitsplätze	41
3.4.1 Modellansatz	41
3.4.2 Definition der Geometrie- und Graphikkomponente	43
3.4.3 Datenverwaltungskomponente	44
3.4.4 Auswertungs- und Bewertungskomponente	45
4. Systementwurf	47
4.1 Entwicklungsumgebung	47
4.1.1 Einführung	47
4.1.2 Hardware - Komponenten	47
4.1.3 Benutzeroberflächen	48
4.2 Layoutplanung	49
4.2.1 Beschreibung der Layoutkonfiguration	49
4.2.2 Methode zur rechnergestützten Elementauswahl	49
4.2.3 Strukturierung der Systemelemente	50
4.2.4 Analyse des Informationsbedarfs	54
4.2.4.1 Struktur der Informationen	54
4.2.4.2 Organisatorische Informationen	55
4.2.4.3 Technologische Informationen	55
4.2.4.4 Wirtschaftliche Informationen	56
4.2.5 Aufbau der Datenbank	56
4.2.6 Methode zur Lösung des Auswahlproblems	59
4.2.7 Methode zur Verwaltung der Arbeitsplatzlayouts und zur Bildung von Standardkomponenten	60
4.3 Modelle zur Einbeziehung ergonomischer Randbedingungen	61
4.3.1 Zielsetzung	61
4.3.2 Kinematikmodell zur Visualisierung manueller Bewegungsfolgen	61

4.3.3	Aufbau der Kinematikstruktur	62
4.3.4	Verknüpfung der Greif- und Arbeitsräume mit den Kinematikmodellen	66
4.3.5	Anwendung graphischer Gestaltungshilfsmittel	68
4.4	Einbeziehung des manuellen Bewegungsablaufes in die Arbeitsplatzgestaltung	69
4.4.1	Interaktive Positionierung der Kinematikstruktur	69
4.4.2	Integration einer iterativen Methode zur Berechnung der Rücktransformation	72
4.4.3	Strategien zur Bestimmung biomechanisch sinnvoller Bewegungsabläufe	73
4.4.4	Einbeziehung von Bewegungsstandards	74
4.4.5	Methode zur Speicherung der Bewegungsfolge	74
4.5	Methode zur Zeitermittlung auf der Basis eines Systems vorbestimmter Zeiten	75
4.5.1	Begriffsdefinition u. Vorgehensweise	75
4.5.2	Integration des MTM - Verfahrens in das graphische Simulationssystem	77
4.5.3	Methode zur Echt-Zeit-Simulation des manuellen Bewegungsablaufes auf der Basis von SvZ	84
4.5.4	Methode zur Integration nicht beeinflubarer Zeitanteile	86
5.	Auswertung und Optimierung	88
5.1	Zielsetzung	88
5.2	Optimierungsansätze der gewählten Arbeitsmethode auf der Basis der MTM - Analyse	91
5.2.1	Vorhandene Optimierungsansätze und Vorgehensweisen	91
5.2.2	Kennzahlen zur Bewertung der Arbeitsmethode	92
5.2.3	Bewertung der Arbeitsmethode auf der Basis einer Primär- Sekundäranalyse der Grundbewegungen	95
5.3	Bewertung der Arbeitsmethode nach ergonomischen Gesichtspunkten	97
5.3.1	Ergonomisches Arbeitsumfeld	97

5.3.2	Bewertung des Bewegungsablaufes nach biomechanischen Gesichtspunkten	97
5.4	Realisierung der Auswertung und Ausgabe der Optimierungsansätze	101
5.5	Anpassung des Simulationssystems zur Planung teilautomatisierter Mikroarbeitssysteme	104
5.5.1	Zielsetzung	104
5.5.2	Erweiterung der rechnergestützten Layoutverwaltung	105
5.5.3	Ermittlung der Betriebsmittelzeit automatisierter Zellenkomponenten	106
5.5.4	Kombination manueller und automatisierter Montageoperationen in einer Zellenkonfiguration	108
5.6	Bewertungsgrößen zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit	110
5.6.1	Zielsetzung	110
5.6.2	Stand der Wirtschaftlichkeitsrechnung komplexer Montageanlagen.	110
5.6.3	Methode zur Bestimmung wirtschaftlicher Planungsparameter aus der graphischen Simulation	113
5.6.3.1	Situationsanalyse	113
5.6.3.2	Investitionskosten	115
5.6.3.3	Lohn- und Betriebskosten	116
5.6.4	Integration einer rechnergestützten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	119
5.7	Dokumentation der Planungsparameter	120
6.	Anwendungsbeispiele des Planungssystem COSIMAN	123
6.1	Konzeption einer flexiblen Montagelinie	123
6.2	Konzeption einer teilautomatisierten Montagezelle	129
6.3	Einbindung eines manuellen Beschickungs- und Montagearbeitsplatzes in eine teilautomatisierte Montageanlage	132
7.	Zusammenfassung und Ausblick	134
8.	Literatur	139

0. Abkürzungen und Formelzeichen

Große Buchstaben:

I	Inertialsystem
S_i	karthesisches Zwischensystem
S_W	Zielsystem
T	homogene Transformationsmatrix
T_i	Transformation des Systems S_i in Koordinaten des Systems s_{i-1}
$T_{(\text{Auftrag})}$	Auftragszeit
T_{bB}	Belegungszeit
VT	Vorgabezeit
$VT_{(AF)}$	Vorgabezeit mit Anpaßfaktor
W	Transformationsmatrix, die die rechte Seite der kinematischen Gleichung beschreibt.
W_M	Wirkungsgrad der PMV/SMV - Analyse eines Montageprinzips

Kleine Buchstaben:

n, o, a	kartesische Einheitsvektoren
p	Homogene Koordinaten
t_a	Ausführzeit
t_{aB}	Betriebsmittelausführzeit

t_c	Zeit je Einheit für manuelle Arbeitsoperationen
t_{cB}	Betriebsmittelzeit je Einheit
t_{er}	Erholungszeit
t_g	Grundzeit
t_{gB}	Betriebsmittelgrundzeit
t_h	Hauptnutzungszeit
t_{hb}	beeinflussbare Hauptnutzungszeit
t_{hu}	unbeeinflussbare Hauptnutzungszeit
t_n	Nebennutzungszeit
t_r	Rüstzeit
t_{rB}	Betriebsmittelrüstzeit
t_t	Tätigkeitszeit
t_{tb}	beeinflussbare Tätigkeitszeit
t_{tu}	unbeeinflussbare Tätigkeitszeit
t_w	Wartezeit
x, y, z	Koordinaten im Weltkoordinatensystem

Abkürzungen:

ANABES	Analysier und Bewertungssystem
CAD	Computer Aided Design
COSIMAN	Computer aided Simulation of Manual Assembly
COSIRO	Computer aided Simulation of Industrial Robots

DH	Denavit Hartenberg
EBGL	linkes Ellenbogengelenk
EUCLID	dreidimensionales, volumenorientiertes CAD - System, eingetragenes Warenzeichen der Matra Datavision
IGES	Initial Graphics Exchange Standard
INGRES	eingetragenes Warenzeichen der Firma Relational Technology
KOS	Koordinatensystem
Manutec R15	Industrieroboterbaureihe der Firma Manutec GmbH
METBES	Methoden Bewertungssystem
MTM	Method of Time Measurement
PLATO-SIM	Planungstool zur Ablaufsimulation
PMV	Primärmontagevorgang
ROBGEN	Roboter-Generierungsmodul
SGL	linkes Schultergelenk
SGR	rechtes Schultergelenk
SMV	Sekundärmontagevorgang
SvZ	System vorbestimmter Zeiten
UAS	Universelles Analysier System
USIS	Universelles Simulations System
VDA-FS	Flächenschnittstellendefinition des Verbandes der deutschen Automobilhersteller
VIFRED	Visuel Forms Editor, eingetragenes Warenzeichen der Firma Relational Technology

VIII

VAX, microVAX, VMS, VT	eingetragene Warenzeichen der Firma Digital Equipment Corporation.
WIM	Programm zur Wirtschaftlichkeitsrechnung in der Montage
WF	Work Factor