

***Band 105***

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

---

***Herausgeber:  
Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart  
Prof. Dr.-Ing. J. Milberg***

---

**Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH**

**Helwig Lehmann**

**Integrierte Materialfluß-  
und Layoutplanung durch  
Kopplung von CAD- und  
Ablaufsimulationssystem**

Mit 96 Abbildungen



**Springer**

Dr.-Ing. Helwig Lehmann  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb), München

Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart  
o. Professor an der Technischen Universität München  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb), München

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

D91

ISBN 978-3-540-62202-4  
DOI 10.1007/978-3-662-07940-9

ISBN 978-3-662-07940-9 (eBook)

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1997.

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1997

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- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Gesamtherstellung: Hieronymus Buchreproduktions GmbH, München.

SPIN: 10561587

62/3020-543210

## Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung. Denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren und Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen und Systeme zur Auftragsabwicklung im Unternehmen werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozeß spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Produktentwicklung über die Planung von Produktionssystemen hin zu den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb*-Forschungsberichten 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.

## Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand neben meiner Tätigkeit als Mitarbeiter am Institut für Produktionstechnik GmbH (ifp).

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

Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Günthner, dem Inhaber des Lehrstuhls für Fördertechnik, Materialfluß und Logistik (fml) der Technischen Universität München, danke ich für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse und die Übernahme des Korreferats.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Prof. Dr.-Ing. Christoph Maier dem Geschäftsführer des Instituts für Produktionstechnik, der die Erstellung der vorliegenden Dissertation unterstützte. Er gab mir die Möglichkeit, meine Erfahrungen aus der Projektstätigkeit in die vorliegende Arbeit einzubringen.

Besonderer Dank gilt weiterhin Herrn Dr.-Ing. Stefan Linner, dem ehemaligen Geschäftsführer des Instituts für Produktionstechnik. Seine wertvollen Anregungen motivierten mich, die Idee *MATPLAN* umzusetzen.

Schließlich möchte ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ifp und iwb sowie allen Studenten, die mich bei der Erstellung der Arbeit unterstützt haben, recht herzlich bedanken - insbesondere bei Herrn Dipl.-Ing. Ulrich Kohler.

München, im August 1996

*Helwig Lehmann*

*Meinen Eltern*

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Der Weg aus der Rezession .....	1
1.2	Bedeutung der Materialflußplanung .....	3
1.3	Der Aspekt der Planungseffizienz .....	4
1.4	Ziel der Arbeit.....	6
1.5	Vorgehensweise .....	6
<b>2</b>	<b>Situationsanalyse</b> .....	<b>7</b>
2.1	Aufgabe und Zielsetzung der Fabrikplanung .....	7
2.2	Planungsablauf.....	8
2.3	Einflußgrößen bei der Materialflußgestaltung.....	11
2.4	Materialflußplanung .....	13
2.5	Layoutplanung .....	15
2.5.1	Vorgehensweise und Aufgaben.....	15
2.5.2	Layoutoptimierung .....	17
2.6	Verfahren zur Materialflußplanung und Layoutoptimierung .....	19
2.6.1	Konventionelle Methoden .....	19
2.6.2	Rechnergestützte Hilfsmittel .....	21
2.6.2.1	CAD-gestützte Materialfluß- und Layoutplanung.....	22
2.6.2.2	Hilfsmittel zur Layoutoptimierung .....	25
2.6.2.3	Ablaufsimulation .....	28
2.6.2.4	Rechnergestützte Integrationsansätze.....	35
2.6.2.5	Expertensysteme .....	39
2.6.3	Bewertung.....	40



---

2.7	Fazit .....	45
<b>3</b>	<b>Aufgabenabgrenzung für die Integration von statischer und dynamischer Materialflußplanung und Layoutoptimierung ..</b>	<b>47</b>
3.1	Gesamtkonzeption .....	47
3.1.1	Zielsetzung .....	47
3.1.2	Einzelziele und deren Anforderungen .....	48
3.1.2.1	Datenintegration .....	48
3.1.2.2	Aufwandsreduzierte Materialfluß- und Layout- planung .....	50
3.1.2.3	Dokumentation .....	51
3.1.2.4	Benutzerakzeptanz .....	52
3.2	Beschreibung der Entwicklungsbasis .....	53
3.3	Formulierung der Entwicklungsschwerpunkte .....	57
<b>4</b>	<b>Datenmodell für die integrierte Materialflußplanung und Layoutoptimierung .....</b>	<b>59</b>
4.1	Konkretisierung der Anforderungen .....	59
4.2	Formulierung des Datenmodells .....	62
4.3	Integration des Datenmodells .....	65
4.3.1	Eingangsdaten der integrierten Materialfluß- und Layout- planung .....	65
4.3.2	Ausgangsdaten der integrierten Materialfluß- und Layout- planung .....	72
<b>5.</b>	<b>Statische Materialflußplanung und Layoutoptimierung .....</b>	<b>76</b>
5.1	Konkretisierung der Anforderungen .....	76
5.2	Konzeptentwicklung und Umsetzung .....	77
5.2.1	Layouterstellung .....	77

5.2.2	Definition der Betriebsmittel .....	78
5.2.3	Erstellen von Materialflußmatrizen .....	80
5.2.4	CAD-gestützte Materialflußplanung .....	83
5.2.4.1	Materialflußelemente im CAD-System .....	83
5.2.4.2	Ist-Analyse .....	89
5.2.4.3	Idealplanung .....	90
5.2.4.4	Realplanung .....	94
5.2.5	CAD-gestützte Layoutoptimierung .....	96
5.2.5.1	Gesamtheitliche Optimierung .....	96
5.2.5.2	Integration konventioneller Methoden zur Layoutoptimierung .....	98
5.2.5.3	Automatische Layoutoptimierung .....	99
5.2.5.4	Änderung von Arbeitsabläufen .....	107
5.2.5.5	Automatische Anpassung des Reallayouts an die Optimierungsergebnisse .....	109
5.2.5.6	Bilden neuer Betriebsmittelgruppierungen .....	109
5.2.6	Dokumentation zur statischen Materialfluß- und Layout- planung .....	110
5.3	Überprüfung der Anforderungserfüllung .....	114
<b>6</b>	<b>Einbeziehung dynamischer Aspekte durch Anbindung der Ablaufsimulation .....</b>	<b>116</b>
6.1	Spezifikation der Zielsetzung .....	116
6.2	Anforderungsermittlung .....	116
6.3	Konzeptentwicklung und Umsetzung .....	117
6.3.1	Voraussetzungen .....	117
6.3.2	Modellierungselemente der Ablaufsimulation .....	118
6.3.2.1	Grundlagen .....	118
6.3.2.2	Produkte .....	120
6.3.2.3	Maschinen .....	121
6.3.2.4	Lager .....	122

6.3.2.5	Förderer, Fahrzeuge und Fahrspuren .....	124
6.3.2.6	Mitarbeiter .....	126
6.3.2.7	Auftragsabwicklung.....	127
6.3.3	Automatische Erstellung des Simulationsmodells .....	129
6.3.3.1	Bekannte Daten aus der statischen Planung .....	129
6.3.3.2	Vorgabewerte.....	135
6.3.3.3	Protokolldatei und interaktive Datenergänzung .....	136
6.3.3.4	Erstellen der Schnittstellendatei .....	137
6.3.4	Simulationsstudie .....	139
6.3.5	Dokumentation der Simulationsergebnisse .....	141
6.4	Überprüfung der Zielerfüllung .....	143
<b>7</b>	<b>Realisierung des Planungsregelkreises .....</b>	<b>145</b>
7.1	Spezifikation der Zielsetzung .....	145
7.2	Konkretisierung der Anforderungen.....	145
7.3	Ansatz zur Zielerfüllung .....	147
7.4	Konzept und Umsetzung.....	148
7.4.1	Modell zur Berechnung der Pufferflächen .....	148
7.4.1.1	Konzeption.....	148
7.4.1.2	Erweiterung der Arbeitsdatei .....	150
7.4.1.3	Anpassungen des Simulationssystems.....	152
7.4.2	Übergabe der Simulationsergebnisse und Aktualisierung der statischen Planung .....	154
7.4.2.1	Auswertung der Simulationsergebnisse.....	154
7.4.2.2	Auswertung der Veränderungen am Simulations- modell .....	156
7.5	Überprüfung der Zielerfüllung .....	157

<b>8 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>159</b>
<b>9 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>164</b>

## Verzeichnis wichtiger Abkürzungen und Formelzeichen

### Abkürzungen

- ASCII = Datenaustauschformat für zeichenorientierte Anwendungen (z. B. Textverarbeitungs-, Tabellenkalkulations- und Datenbankprogramme)
- AutoCAD = CAD-System für Personal Computer der Firma Autodesk
- CAD = Computer Aided Design
- CAP = Computer Aided Planning
- BDE = Betriebsdatenerfassung
- DAT = Dateierweiterung einer Datei, die vom Simulationssystem WITNESS gelesen oder erstellt wird
- DIF = Dateierweiterung eines Datenaustauschformates des Simulationssystems WITNESS
- DOS = Betriebssystem für Personal Computer der Firma Microsoft
- DTP = Desktop-Publishing, rechnergestütztes Erstellen von Dokumenten unter Anwendung von Datenbanken, Textverarbeitungs-, Tabellenkalkulations- und Grafikprogrammen
- DXF = Dateierweiterung eines Datenaustauschformates des CAD-Systems AutoCAD
- EDV = Elektronische Datenverarbeitung
- FEM = Finite Elemente Methode
- FTS = Fahrerloses Transportsystem

---

IGES	=	Initial Graphics Exchange Specification, Datenaustauschformat von CAD-Systemen
IGS	=	Dateiextension des Datenaustauschformates IGES
LISP	=	Programmiersprache (auch Common LISP), LISP steht für LIStenProgrammierung
LST	=	Dateiextension der Modellbeschreibungsdatei (List-Datei) des Simulationssystems WITNESS
MDE	=	Maschinendatenerfassung
PC	=	Personal Computer
PPS	=	Produktions-Planung und -Steuerung
TXT	=	Datenaustauschformat für Textdateien
UNIX	=	Betriebssystem für Personal Computer, Mittel- und Großrechner
Windows	=	Betriebssystemoberfläche für Personal Computer der Firma Microsoft
WITNESS	=	Ablaufsimulationssystem der Firma AT&T Istel

## Formelzeichen

(	=	Zeichen für Listenbeginn und mathematisches Formelzeichen
)	=	Zeichen für Listenende und mathematisches Formelzeichen
$i, j$	=	Betriebsmittel (z. B. Maschinen)
$k_{i,j}$	=	Kennzahlwerte (Logistik Kennzahlen)
$m_{i,j}$	=	Transportmengen
$n$	=	Zähler (z.B. Anzahl aller Betriebsmittel)
$s_{i,j}$	=	Transportentfernungen
$B$	=	Breite eines Betriebsmittels

D	=	Distanzmatrix (auch Wege- oder Entfernungsmatrix)
F	=	Produktionsfläche
$F_B$	=	Bedienfläche eines Betriebsmittels
$F_F$	=	Funktionsfläche eines Betriebsmittels
$F_{FBS}$	=	Erweiterte Funktionsfläche eines Betriebsmittels (Erweiterung um Betriebs- und Servicefläche)
$F_{FBSges}$	=	Gesamte erweiterte Funktionsfläche
$F_{Fges}$	=	Gesamte Funktionsfläche
$F_P$	=	Pufferfläche eines Betriebsmittels
$F_S$	=	Servicefläche eines Betriebsmittels
$F_{stat.}$	=	Statischer Flächenanteil von F ( $F_F + F_B + F_S + F_Z$ )
$F_{dyn.}$	=	Dynamischer Flächenanteil von F ( $F_P + F_T$ )
$F_T$	=	Transport- oder Verkehrsfläche
$F_Z$	=	Zusatzfläche
K	=	Kennzahlmatrix
M	=	Materialflußmatrix
T	=	Tiefe eines Betriebsmittels
Z	=	Zielmatrix der Layoutoptimierung (auch Zielwert oder Zielfunktion)