

Operations Research

Herausgegeben von H. J. Zimmermann

Simultane Lagerdisposition und Fertigungsablaufplanung bei mehrstufiger Mehrproduktfertigung

von

Eckhard Müller

Mit 55 Abbildungen



Walter de Gruyter · Berlin · New York 1972



Copyright 1972 by Walter de Gruyter & Co., vormal's G. J. Göschen'sche
Verlagshandlung – J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung – Georg Reimer –
Karl J. Trübner – Veit & Comp., Berlin 30. – Alle Rechte, einschl. der Rechte
der Herstellung von Photokopien und Mikrofilmen, vom Verlag vorbehalten.
Satz: IBM-Composer, Walter de Gruyter & Co. – Druck: Saladruck, Berlin 36
Printed in Germany

ISBN 3 11 003926 5

Library of Congress Catalog Card Number 72-76036

Geleitwort

Die grundlegenden Abhängigkeiten zwischen der Disposition und der Ablaufplanung in Fertigungsbetrieben stellen ein Problem von großer Bedeutung dar und zwingen in immer stärkerem Maße zum Einsatz von integrierten Planungssystemen. Diese Aufgabe ist deshalb besonders schwierig, weil die theoretische Losgrößen- und Reihenfolgeforschung bisher nicht in der Lage war, für die integrierte Problemstellung bei praxisnaher Größenordnung praktikable Lösungsverfahren zu entwickeln.

Der Autor des vorliegenden Buches geht von den vorhandenen Lösungsansätzen für die Teilprobleme aus und entwickelt das theoretische Instrumentarium weiter, um dem Ziel der interdependenten Planung näherzukommen. Er schlägt vor, das Dispositionsproblem analytisch auf der Grundlage von Kostenbetrachtungen zu lösen und das Reihenfolgeproblem des Fertigungsablaufs auf die Bestimmung geeigneter Prioritätsregeln zurückzuführen.

Es wird von umfangreichen empirischen Voruntersuchungen ausgegangen, die mit Hilfe eines Simulationsmodells durchgeführt wurden und zu einer quantitativen Aussage über die Interdependenzen zwischen der Disposition und dem Fertigungsablauf geführt haben. Daraus wird eine neuartige Lösungskonzeption entwickelt, indem die Variablen der Disposition (Losgrößen, Sicherheitsbestände) durch einen iterativen Rechenprozeß unter Einbeziehung der Simulation des Fertigungsablaufs bestimmt werden.

Die Simulationsergebnisse, die anhand von Durchlaufzeitverteilungen und Kostenstrukturdiagrammen dargestellt werden, zeigen deutlich, daß die Lagerhaltungspolitik von den Fertigungsbedingungen (Prioritätsregel, Kapazitätsausnutzung) stark beeinflußt wird. Durch die Einbeziehung der Durchlaufzeiten in das Dispositionsmodell können Lagerhaltungspolitiken bestimmt werden, die für die jeweils verwendete Prioritätsregel zumindest näherungsweise optimal sind.

Es wäre zu wünschen, daß sowohl Praktiker als auch Wissenschaftler die hier vorgelegten Ergebnisse nutzen und weiterführen werden!

Aachen, im Januar 1972

H. J. Zimmermann

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|---|-----------|
| Einleitung | 11 |
| 1. Problemstellung und Abgrenzung | 13 |
| 1.1 Das Teilproblem der Lagerdisposition | 13 |
| 1.2 Das Teilproblem der Fertigungsablaufplanung | 15 |
| 1.3 Problemstellung bei integrierter Lagerdisposition und Fertigungsablaufplanung | 17 |
| 2. Die Problematik und Darstellung bekannter Modellansätze | 18 |
| 2.1 Analytische Modelle | 18 |
| 2.1.1 Simultanmodelle der einstufigen Fertigung | 18 |
| 2.1.2 Reihenfolgenmodelle der mehrstufigen Fertigung | 20 |
| 2.1.3 Das mehrstufige LP-Modell von <i>Adam</i> | 20 |
| 2.1.4 Das Modell der „flexiblen losgrößenoptimalen Produktions-Planung“ von <i>Müller-Merbach</i> | 21 |
| 2.2 Simulationsmodelle | 23 |
| 2.2.1 Struktur und Zielsetzung bisheriger Simulationsuntersuchungen | 23 |
| 2.2.2 Die Warteschlangenkonzeption der dynamischen Fertigungsmodelle | 23 |
| 2.2.3 Darstellung einzelner Modelle | 25 |
| 2.2.3.1 Das Modell von <i>Conway</i> | 25 |
| 2.2.3.2 Das Modell von <i>Gräßler</i> | 26 |
| 2.2.3.3 Das Modell von <i>Hollier</i> | 27 |
| 2.2.3.4 Das Modell von <i>Berr</i> und <i>Papendieck</i> | 27 |
| 3. Entwicklung eines mehrstufigen Modells für die simultane Lagerdisposition und Ablaufplanung | 30 |
| 3.1 Zum Begriff der Simultaneität | 30 |
| 3.2 Modellkonzeption | 30 |
| 3.3 Das Entscheidungsmodell der Lagerdisposition | 32 |
| 3.3.1 Definitionen | 32 |
| 3.3.2 Die Bestimmungsgrößen der Entscheidungsfunktion | 35 |
| 3.3.2.1 Die Nachfragestruktur | 35 |
| 3.3.2.2 Die Fertigungsstruktur | 35 |
| 3.3.2.3 Das Optimierungsziel | 35 |
| 3.3.3 Der Sonderfall unbeschränkter Kapazitäten bei der mehrstufigen Fertigung | 37 |
| 3.3.3.1 Die Berechnung der Zwischenlagerkosten anhand mengen- und wertmäßiger Lagerbestandsverläufe | 37 |
| 3.3.3.2 Ein deterministisches (S, q)-Modell | 44 |
| 3.3.4 Übergang zu kapazitiven Beschränkungen | 50 |
| 3.3.4.1 Die Unzulänglichkeit der Losgrößenformel bei beschränkten Fertigungskapazitäten | 51 |

| | Seite | |
|---------|--|-----|
| 3.3.4.2 | Diskretisierung des Planungszeitraums und Einführung von Pufferzeiten | 53 |
| 3.3.5 | Deterministische Modellansätze bei beschränkten Kapazitäten | 56 |
| 3.3.5.1 | Ansatz mit produktindividuellen Fertigungszyklen | 56 |
| 3.3.5.2 | Ansatz bei einem strengen Fertigungszyklus | 57 |
| 3.3.6 | Modellansätze mit zufallsverteilten Durchlaufzeiten bei beschränkten Kapazitäten | 58 |
| 3.3.6.1 | Der Zufallscharakter der Durchlaufzeiten | 58 |
| 3.3.6.2 | Simultane Losgrößen- und Bestellpunktrechnung in einem stochastischen Modell | 59 |
| 3.3.6.3 | Separate Losgrößen- und Bestellpunktrechnung durch Anpassung des Sicherheitsbestandes | 73 |
| 3.4 | Das Simulationsmodell des Fertigungsablaufs | 75 |
| 3.4.1 | Modellprämissen | 75 |
| 3.4.2 | Planungszeitraum und Methode der Zeitführung | 77 |
| 3.4.3 | Prioritätsregeln zur Lösung des Reihenfolgeproblems | 78 |
| 3.4.3.1 | Elementare Prioritätsregeln | 78 |
| 3.4.3.2 | Kombinierte Prioritätsregeln | 79 |
| 3.4.4 | Darstellung des Fertigungsablaufs | 80 |
| 4. | Die Datenstruktur als prozeßbestimmender Faktor | 84 |
| 4.1 | Werkstattbezogene Daten | 84 |
| 4.1.1 | Die Kapazitäten der Maschinengruppen | 84 |
| 4.1.2 | Die Kosten der Kapazitätseinheiten je Zeiteinheit | 84 |
| 4.2 | Produktbezogene Daten | 84 |
| 4.2.1 | Nachfrageraten | 85 |
| 4.2.2 | Vorgabezeiten | 85 |
| 4.2.3 | Maschinenfolgen | 85 |
| 5. | Darstellung der Simulationsuntersuchungen | 87 |
| 5.1 | Angaben zum Simulationsprogramm | 87 |
| 5.2 | Rand- und Anfangsbedingungen der Simulationen | 87 |
| 5.2.1 | Die Wahl des Produktionsprogramms | 87 |
| 5.2.2 | Die Stationaritätsbedingung | 87 |
| 5.2.3 | Der Simulationsumfang | 88 |
| 5.3 | Die Auslegung der Simulationsexperimente | 88 |
| 5.4 | Simulationsergebnisse | 89 |
| 5.4.1 | Ankunfts-, Übergangs- und Abfertigungsprozeß | 90 |
| 5.4.2 | Untersuchungen zur Stationarität | 92 |
| 5.4.3 | Ergebnisse mit den deterministischen Modellansätzen der Disposition | 94 |
| 5.4.3.1 | Ergebnisse bei produktindividuellen Fertigungszyklen | 94 |
| 5.4.3.2 | Ergebnisse bei einem strengen Fertigungszyklus | 95 |
| 5.4.4 | Ergebnisse bei separater Losgrößen- und Bestellpunktrechnung mit dem stochastischen Modellansatz | 96 |
| 5.4.4.1 | Maschinenübergänge nach dem Fließprinzip | 96 |
| 5.4.4.2 | Maschinenübergänge nach dem Werkstattprinzip | 103 |
| 5.4.4.3 | Der Einfluß unterschiedlicher Fehlmengenkostensätze | 109 |

| | |
|---|------------|
| Inhaltsverzeichnis | 9 |
| | Seite |
| 5.4.4.4 Der Einfluß unterschiedlicher Vorgabezeitstrukturen . . . | 111 |
| 5.4.4.5 Simulationen mit unterschiedlichen Zufallszahlenfolgen . | 111 |
| 5.4.5 Ergebnisse bei simultaner Losgrößen- und Bestellpunktrechnung mit dem stochastischen Modellansatz | 112 |
| Zusammenfassung | 115 |
| Literaturverzeichnis | 117 |
| Anhang | 120 |

Einleitung

Die vorliegende Untersuchung befaßt sich mit dem Problem der Prozeßplanung bei mehrstufiger Mehrproduktfertigung. Dieser Problemkomplex wird von *Gutenberg* als dritte Phase der Produktionsplanung neben der Produktionsprogramm- und der Bereitstellungsplanung angesehen [27, S. 148]. Abweichende Begriffsdefinitionen zur Produktionsplanung sollen hier nicht eingehender diskutiert werden. Erwähnt sei lediglich, daß z. B. von *Ellinger* die Produktplanung in die Produktionsplanung einbezogen wird [21, S. 9] und daß in neuerer Zeit von *Opitz* als wesentliche Bestandteile eines Produktionsplanungssystems die Termin-, Mengen-, Qualitäts- und Kostenplanung [61, S. 494] genannt werden.

Die Prozeßplanung als Planung der zeitlichen Produktionsdurchführung umfaßt die Fragestellungen der Auftrags- bzw. Losgrößenplanung und der Ablaufplanung. Während bei der Produktionsprogramm- und Bereitstellungsplanung statische Elemente vorherrschen, hat die Prozeßplanung dynamischen Charakter. Dadurch gestaltet sich diese Planungsaufgabe besonders schwierig. Während für die Programm- und Bereitstellungsplanung zahlreiche Modelle bekannt geworden sind, ist das Problem der Prozeßplanung für den mehrstufigen Fall noch als ungelöst anzusehen. Die bisherigen Modellansätze führen entweder nur unter stark einschränkenden Voraussetzungen zu einer Lösung oder können das Problem lediglich beschreiben, ohne einer Lösung zugänglich zu sein. Das Ziel dieser Untersuchung ist daher, Modellansätze zu entwickeln, bei denen unter Einbeziehung heuristischer Planungselemente suboptimale Lösungen bei geringem Rechenaufwand erhalten werden. Die Lösungsidee besteht darin, ein analytisches Verfahren der Disposition mit einem Simulationsmodell des Fertigungsablaufs durch einen iterativen Prozeß zu verbinden.

Die Teilaufgaben der Prozeßplanung hängen ganz wesentlich von der Struktur des jeweils betrachteten Fertigungsbetriebes ab. Diese Struktur wird bestimmt durch die Anordnung der Betriebsmittel, den innerbetrieblichen Materialfluß und die zeitliche Abstimmung der Arbeitsvorgänge [50, S. 102 ff.]. Der vorliegenden Untersuchung wird die Organisationsform der Werkstattfertigung zugrunde gelegt, und es wird von Serienerzeugnissen ausgegangen, so daß das Problem der Prozeßplanung den höchsten Schwierigkeitsgrad erreicht.

Die Untersuchung ist in fünf Kapitel gegliedert. Im ersten Kapitel werden die Teilprobleme der Lagerdisposition und der Fertigungsablaufplanung definiert und zur Problemstellung der Prozeßplanung integriert. Ferner wird eine Reihe von Abgrenzungen durchgeführt, um die wesentlichen Strukturelemente des Problems hervorzuheben. Im zweiten Kapitel werden die aus der Literatur bekannt-

ten Modellansätze und Lösungsverfahren dargestellt und die Grenzen ihrer Anwendbarkeit aufgezeigt. Danach werden im dritten Kapitel verschiedene deterministische und stochastische Modellansätze der Disposition entwickelt und die Grundzüge des Simulationsmodells anhand des Prämissensystems erläutert. Diese modelltheoretische Abhandlung stellt den einen Schwerpunkt der Arbeit dar. Der zweite Schwerpunkt liegt in der Durchführung und Auswertung umfangreicher empirischer Untersuchungen mit dem Fertigungsmodell, über die in Kapitel fünf berichtet wird. Vorher wird im vierten Kapitel noch die für den Prozeßablauf wichtige Datenstruktur der Simulationen definiert.

1. Problemstellung und Abgrenzung

1.1 Das Teilproblem der Lagerdisposition

„In abstrakter Form kann man jedes Lager als einen Puffer auffassen, der zwischen gewisse Input- und Output-Ströme von Gütern geschaltet ist“ [34, S. 1], vgl. Abb. 1.1:



Abb. 1.1

Unterschiede in der zeitlichen und quantitativen Struktur der Input- und Output-Ströme kommen im Verlauf des Lagerbestandes über der Zeit zum Ausdruck [s. auch 31, S. 6].

Im Mehrproduktfall ist für jede Produktart ein Input- und ein Outputstrom vorhanden, mehrstufige Probleme sind durch die Anordnung mehrerer Läger zu beschreiben. Mehrlagersysteme in Verbindung mit Fertigungsprozessen haben allerdings eine wesentlich andere Struktur als die Mehrlagersysteme der Distribution. Die letztere Art ist unter dem Begriff der „Multi-echelon-“ Systeme bekannt geworden [vgl. u. a. 29, S. 4ff.; 35, S. 507 ff.].

Der Outputstrom einer Produktart kennzeichnet den Prozeß der Bedarfserfüllung. In der Lagerhaltungstheorie wird üblicherweise angenommen, daß der Bedarf, d. h. die Nachfrage von außerhalb des Lagerhaltungssystems, nicht beeinflußt werden kann [34, S. 3]. Dagegen wird der Inputstrom, d. h. der Strom der Lagerzugänge eines Produktes durch Entscheidungen über Bestellmengen und Bestellzeitpunkte bestimmt.

Mit dem Vorgang der Lagerhaltung sind Kosten verbunden, die in einer Kostenfunktion zusammengefaßt werden können. Es besteht dann die Aufgabe, die beeinflussbaren Größen der Lagerhaltung so zu bestimmen, daß die Kostenfunktion ihr Minimum erreicht. Lagerhaltungsmodelle sind demnach als Entscheidungsmodelle anzusehen, wobei der Lagerbestand als Zustandsvariable und der Bestellzeitpunkt bzw. die Bestellmenge als Entscheidungsvariable auftreten [34, S. 2; 58, S. 8; 62, S. 14f.].

Der Erneuerungsprozeß kann durch Eigenfertigung oder durch Fremdbezug realisiert werden. Die Struktur des Dispositionsproblems ist in beiden Fällen ähnlich, so daß die Begriffe Bestellzeitpunkt, Auflegungs- und Einsteuerungszeitpunkt