

Prom. Nr. 4230

# **Aufbau eines Simulationsmodells der Werkstättenfertigung auf der Basis eines Markov-Prozesses**

ABHANDLUNG

zur Erlangung  
der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften  
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von

**ALFRED BÜCHEL**

dipl. Masch.-Ing. ETH  
geboren am 18. Februar 1926  
von Rüthi (Kt. St. Gallen)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. W. F. Daenzer, Referent

Prof. Dr. H. P. Künzi, Korreferent

Juris Druck + Verlag Zürich  
1968

5 GENERELLE SCHLUSSFOLGERUNGEN

51 Berechtigung der Modellhypothesen

Gesamthaft gesehen darf ein Markovprozess als geeignet angesehen werden, um Durchlaufpläne für ein Modell der Werkstattfertigung zu erzeugen. Es traten zwar beim untersuchten Datenmaterial einige Abweichungen von der Idealvorstellung auf. Diese sind aber nicht schwerwiegend genug, um den Markovprozess als Grundlage für die Modellbildung zu verwerfen. Man kann ihn als eigentlichen Idealfall eines Werkstattmodells ansehen, der dadurch zustande kommt, dass die Merkmale der einzelnen Teile im gesamten Kollektiv untergehen. In der Praxis treten dann Teile mit derart stark ausgeprägten Sondermerkmalen auf, dass das Idealbild gestört wird.

Wollte man für den untersuchten Betrieb als Ganzes ein synthetisches Modell aufbauen, so müsste man zur Berücksichtigung der vorgefundenen Spezialfertigungen und Teilefamilien dem stochastischen Modell des Markovprozesses deterministische Teilmodelle überlagern. In diesem Sinne betrachtet, hat auch der durchgeführte Ausleseprozess eine Trennung des stochastischen Grundmodells von andern Komponenten erreicht.

Die vorgefundenen Verteilungen, sowohl jene zur Beschreibung des Gesamtkollektivs der Teile wie jene der Loszeiten haben generell den Charakter lognormaler Verteilungen, auch wenn die Übereinstimmung nicht so gut ist, dass die vorkommenden Abweichungen der empirischen von den theoretischen Verteilungen als rein zufällig gewertet werden können. Unter Einbeziehung von Mischverteilungen scheint die lognormale Verteilung von den bekannteren theoretischen Verteilungen die beste Anpassung zu ermöglichen. Es sind keine Anzeichen vorhanden, dass diese Anpassung durch die Wahl unterschiedlicher Verteilungsarten für verschiedene Maschinengruppen verbessert werden könnte. Es ist also möglich, mit einer einzigen Klasse von Verteilungen auszukommen.

Es sind eindeutig Korrelationen vorhanden zwischen den Stückzeiten wie den Loszeiten desselben Teils. Es scheint aus diesem Grunde vorteilhaft,

die Loszeiten als Grundlage für eine Simulation zu nehmen. Auf diese Weise sind einerseits weniger Grössen zu erzeugen und andererseits die Verteilungen der Loszeiten besser durch theoretische Verteilungen anzupassen.

Die Art der Korrelationsbeziehungen zwischen den Loszeiten entspricht nur teilweise den Erwartungen, da vor allem die Randverteilungen der Korrelationspaare nicht immer zufällige Stichproben aus den entsprechenden Grundverteilungen sind. Hier müsste ein synthetisches Modell gewisse Abweichungen von den Beobachtungen in Kauf nehmen, wenn der Prozess zu seiner Erzeugung nicht stark erschwert werden soll. Die Tatsache, dass die Quantilsverteilungen auch bei Mischverteilungen ein der Korrelation ähnliches Bild ergaben, spricht für die Wünschbarkeit, eine Korrelationsbeziehung zwischen den Quantilen für die Erzeugung von Loszeiten verwenden zu können.

Eindeutig ist auch die Korrelation zwischen Fertigungskosten und Materialkosten des Teile-Kollektivs. Die dabei beobachtete Korrelation gibt grundsätzlich Anlass zur Vorsicht gegenüber der Annahme gegenseitiger Unabhängigkeit solcher Merkmalswerte.

52

#### Zulässigkeit von Vereinfachungen und Idealisierungen

Die verschiedenen Untersuchungen haben gezeigt, dass die grundsätzlichen theoretischen Modellvorstellungen gesamthaft gesehen zwar mit den Daten der Praxis vereinbar sind, häufig aber einzelne Abweichungen auftreten. Dabei hat sich verschiedentlich ergeben, dass diese Abweichungen um so ausgeprägter sind, je mehr man auf die originären Grunddaten eingeht, dass sie jedoch durch das Zusammenwirken und die Ueberlagerung mehrerer Grössen eine Tendenz zum Ausgleich zeigen. Im Sinne einer Extrapolation dieser Erscheinung kann man vermuten, dass dieser Ausgleich bei der Durchführung einer Simulation, bei der die vorkommenden Grössen in vielfältiger Weise zusammenwirken, im gleichen oder noch stärkerem Masse stattfindet. Daraus kann man weiter folgern, dass es nicht unbedingt notwendig ist, die Eingabedaten des Simulationsmodells in allen Details den Gegebenheiten

der Praxis anzupassen, sondern es genügt, die charakteristischen Merkmale der Daten zu reproduzieren (z.B. Mittelwert, Streuung und grundsätzlicher Charakter einer Verteilung; Randverteilungen und Korrelationskoeffizient einer Korrelationsbeziehung).

Man kann sich daher auch fragen, ob es notwendig ist, Korrelationsbeziehungen zwischen Loszeiten zu berücksichtigen, da deren Einschluss in den Erzeugungsprozess eines Modells diesen viel umständlicher macht. Generell kann man solche Fragen eigentlich nur entscheiden, wenn in einem geeigneten Simulationsexperiment Fälle mit und ohne Berücksichtigung eines solchen Merkmales durchgespielt und die Ergebnisse verglichen werden. Man muss also immer vorerst das kompliziertere von zwei möglichen Modellen konstruieren und kann gegebenenfalls erst dann zur Vereinfachung schreiten, wenn auf experimentellem Weg nachgewiesen werden soll, dass ein Faktor vernachlässigt werden kann.

Im Falle der Korrelation zwischen den Loszeiten kann man nun aber mit Bestimmtheit sagen, dass diese unter gewissen Umständen einen Einfluss auf das Verhalten der Warteschlangen hat. Wenn nämlich eine Prioritätsregel zur Steuerung der zeitlichen Arbeitszuteilung (Abschnitt 24) die Loszeiten berücksichtigt, so ist der Einfluss einer Korrelation offensichtlich. Wird beispielsweise die häufig empfohlene Regel (vgl. bei Conway [4]) angewendet, das Los mit der jeweiligen kürzesten Loszeit innerhalb der vorhandenen Warteschlange zuerst zu bearbeiten, so ist bei Vorliegen von positiver Korrelation zwischen den Loszeiten die Streuung der Durchlaufzeiten grösser als bei voneinander unabhängigen Bearbeitungszeiten. Damit wird ein Nachteil der Auswirkungen dieser Regel verstärkt.

53 Gesamtbeurteilung der Ergebnisse

Wie in Abschnitt 14 erläutert wurde, bestand ein Ziel dieser Arbeit darin festzustellen, ob es möglich ist, ein theoretisches Werkstattmodell synthetisch so zu konstruieren, dass es den Gesetzmässigkeiten einer realen Werkstatt entspricht. Dieses Problem zerfällt in zwei Fragenkomplexe:

- 1) Ist es möglich, eine Werkstattfertigung mit Hilfe von mathematisch-statistischen Methoden genügend wirklichkeitsnahe zu beschreiben?
- 2) Kann man die Parameter einer derartigen Beschreibung im gewünschten Sinne verändern, um die Charakteristiken von verschiedenen Werkstätten nachzubilden?

Die Frage 1) kann man zur Hauptsache bejahen. Die Stationenwahl kann als Markovprozess beschrieben werden. Loszeiten können als einfache oder gemischte lognormale Verteilung dargestellt und mit gewissen Vereinfachungen können auch Korrelationen der Loszeiten beschrieben werden. Wesentliche Eigenschaften der Beziehungsmatrix, wie Richtungskoeffizient und Entropie, können ebenfalls ermittelt und auch für die Parameter der Loszeitverteilungen das ganze Kollektiv beschreibende Masszahlen gefunden werden.

Die Erzeugung von Verteilungen mit andern Parametern und Korrelationskoeffizienten stellt kein besonderes Problem dar. Hingegen ist dem Verfasser bis jetzt kein Weg bekannt, eine Beziehungsmatrix zu konstruieren, die vorgegebene Masszahlen, wie Anzahl Operationen pro Teil, Richtungskoeffizient und Entropie aufweist. Hier wären weitere Untersuchungen notwendig, um das Idealziel zu erreichen.

Eine wichtige Etappe auf dem Weg zu diesem Ziel ist aber sicher erreicht, können doch mit den hergeleiteten Masszahlen bestehende Betriebe der Werkstattfertigung charakterisiert werden. Erst damit ist es möglich festzustellen, bezüglich welcher Parameter und in welchem Ausmass verschiedene Betriebe sich unterscheiden und welchen Bereich ein synthetisches Modell demnach abdecken müsste.

Die nächsten Schritte in der Verfolgung des Gesamtzieles müssten somit darin bestehen, Daten weiterer Betriebe zu untersuchen. Erst durch

Vergleich ist es möglich festzustellen, welche der im vorliegenden Falle gefundenen Gesetzmässigkeiten grundlegende, allgemeingültige Eigenschaften einer Werkstattfertigung sind und welche Eigenschaften nur im speziellen Fall zutreffen.

Auf dem Wege zur Anwendung eines solchen Werkstattmodells ist ebenfalls ein erster Schritt getan, kann doch von der in diesem Fall gefundenen Modellstruktur ausgegangen werden. Auch ist es möglich, die im vorangehenden Abschnitt behandelten Fragen der Zulässigkeit von Vereinfachungen abzuklären. Das Hauptziel der Untersuchung, einen Beitrag zur Erforschung der Probleme der Fertigungssteuerung zu leisten, ist damit erreicht. Dass hinter jedem gelösten Problem neue Fragen auftauchen, die zu weiterer Forschung anregen, ist eine auf allen Gebieten der Wissenschaft und Technik bekannte Erfahrung.

Ein besonderes Anliegen dieser Arbeit bestand darin, die gerade bei Simulationsexperimenten oft vernachlässigte Frage der Beschaffung wirklichkeitsnaher Daten in den Vordergrund zu rücken. Mit dem Nachweis, dass Datenstrukturen gegebenenfalls komplizierter sind, als erste plausible Annahmen ergeben, wird die Bedeutung dieser Frage unterstrichen.