

Haase, Knut; Göpfert, Lars

**Working Paper — Digitized Version**

## Engpaßorientierte Fertigungssteuerung bei reihenfolgeabhängigen Rüstvorgängen in einem Unternehmen der Satz- und Drucktechnik

Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 373

**Provided in Cooperation with:**

Christian-Albrechts-University of Kiel, Institute of Business Administration

*Suggested Citation:* Haase, Knut; Göpfert, Lars (1995) : Engpaßorientierte Fertigungssteuerung bei reihenfolgeabhängigen Rüstvorgängen in einem Unternehmen der Satz- und Drucktechnik, Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 373, Universität Kiel, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Kiel

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/149833>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

Manuskripte  
aus den  
Instituten für Betriebswirtschaftslehre  
der Universität Kiel

Nr. 373

**Engpaßorientierte Fertigungssteuerung bei  
reihenfolgeabhängigen Rüstvorgängen in einem  
Unternehmen der Satz- und Drucktechnik**

Knut Haase, Lars Göpfert



Nr. 373

**Engpaßorientierte Fertigungssteuerung bei  
reihenfolgeabhängigen Rüstvorgängen in einem  
Unternehmen der Satz- und Drucktechnik**

Knut Haase, Lars Göpfert

Mai 95

Dr. Knut Haase, Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 40, D-24118 Kiel.

Hauptarbeitsgebiete: Produktionsplanung und -steuerung, Logistik.

Cand. oec. Lars Göpfert, Student der Betriebswirtschaftslehre, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

## Überblick

- Welche Probleme entstehen aus der Vernachlässigung reihenfolgeabhängiger Rüstvorgänge an einer Engpaßmaschine? Wie läßt sich die vorhandene Kapazität effektiv nutzen?
- Am Beispiel eines Hochtechnologie-Unternehmens aus dem Bereich der Satz- und Drucktechnik wird gezeigt, daß durch eine geeignet integrierte Losgrößen- und Ablaufplanung deutliche Verbesserungen gegenüber konventionellen Vorgehensweisen erzielt werden können.
- Der hier vorgeschlagene Ansatz vermeidet Losgrößensplitting, reduziert Durchlaufzeiten und beseitigt vermeidbare Terminüberschreitungen.
- Bei dem betrachteten Unternehmen erübrigte sich damit die im Rahmen eines "Lean Production" beabsichtigte Verlängerung der Werkbank. Ferner war es nicht erforderlich, zur Erhöhung der Kapazität ins Auge gefaßte Investitionen zu tätigen.

**Danksagung:** An dieser Stelle möchten wir uns sehr herzlich für die konstruktive Zusammenarbeit bei den Mitarbeitern der Linotype-Hell AG Kiel, Herrn Dipl.-Ing. Köcher und Herrn Dipl.-Ing. Weidner, bedanken.

## A. Einführung

Zur rationellen Produktionsplanung und -steuerung (PPS) sind computergestützte PPS-Systeme in vielen Unternehmen im Einsatz. Deren Beschaffung und Einführung erfordert i.d.R. erhebliche Investitionen. Eine zentrale Aufgabe von PPS-Systemen ist die mengenmäßige und zeitliche Disposition der Fertigungsaufträge. Dabei wird auf der Basis von Primärbedarfen festgelegt, welche Erzeugnisse in welcher Menge und in welcher Periode zu produzieren sind. Derartige Entscheidungen haben einen wesentlichen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens. Große Fertigungsaufträge (Lose) induzieren umfangreiche Lagerbestände, die beträchtliche Kosten aufgrund der Kapitalbindung, des aufwendigen *Handlings* oder des Risikos der Obsoleszenz verursachen. Werden dagegen viele kleine Lose gebildet, so entstehen u.a. vermehrt Opportunitätskosten für Rüstzeiten. Ziel ist es daher, Losgrößen so zu bestimmen, daß die Summe der Rüst- und Lagerkosten minimal ist.

Trotz hoher Anschaffungskosten liefern heute eingesetzte PPS-Systeme zumeist unbefriedigende Ergebnisse, die durch Schwächen des zugrundeliegenden sukzessiven Planungskonzepts<sup>1</sup> begründet sind<sup>2</sup>. Ausgehend von einer Primärbedarfsplanung werden im Rahmen der Materialdisposition und der anschließenden Terminplanung auf der Basis von Rüst- und Lagerkosten ohne Beachtung weiterer Restriktionen Bedarfe zu Losen zusammengefaßt, denen dann unter Berücksichtigung einer Durchlaufzeit ein Produktionstermin zugeordnet wird. Problematisch ist diese Vorgehensweise insofern, da die Durchlaufzeit keine statische Größe ist, sondern von der Kapazitätsauslastung und den Losgrößen abhängt. Weitere Kritikpunkte sind mangelnde Abstimmung der Produktionsstufen<sup>3</sup> und Vernachlässigung von Interdependenzen, die durch die gemeinsame Ressourcenbeanspruchung unterschiedlicher Erzeugnisse bedingt sind<sup>4</sup>. Zur Korrektur von dadurch entstandenen Kapazitätsverletzungen

---

<sup>1</sup>Das Basiskonzept wird auch als MRP II-Konzept (Manufacturing Resource Planning) bezeichnet; siehe hierzu beispielsweise Glaser et al. (1992, S. 3).

<sup>2</sup>Vgl. Drexel et al. (1994).

<sup>3</sup>Vgl. Drexel et al. (1995).

<sup>4</sup>Die Vernachlässigung von Kapazitätsrestriktionen im Rahmen der Materialdisposition ist heute nicht mehr zu akzeptieren, da effiziente Verfahren zur Verfügung stehen, die auch komplexe Datensätze in wenigen Sekunden lösen; vgl. z.B. Dixon und Silver (1984), Haase (1993), Kirca und Kökten (1994).

wird ein einfacher Kapazitätsabgleich durchgeführt. Terminüberschreitungen, Losgrößensplitting, Anstieg der Durchlaufzeiten und erhöhte Lager- und Rüstkosten sind die Folge<sup>5</sup>.

Ein weiterer Aspekt ist, daß Rüstkosten, die einen erheblichen Einfluß auf die Losgrößen besitzen, von der Reihenfolge abhängen können, in der Lose produziert werden. So ist beispielsweise häufig der Rüstaufwand zwischen Produkten, die derselben "Familie" angehören, deutlich geringer als der Rüstaufwand zwischen Produkten unterschiedlicher "Familien". Um in Abhängigkeit der anfallenden Rüstkosten Lose zu bestimmen, ist daher (anstelle einer Material- und Termindisposition) eine integrierte Losgrößen- und Ablaufplanung erforderlich<sup>6</sup>.

Während die Planungsmodule von computergestützten PPS-Systemen i.d.R. unzureichend sind, besitzen sie in der (zentralen) Datenverwaltung ihre Stärken. Schon heute sind billige Personal Computer (PC) in der Lage, rechenintensive Planungsaufgaben dezentral durchzuführen, wobei verschiedene PCs gemeinsam auf zentral oder dezentral verfügbare Datenbestände zugreifen (Client-Server-Architektur) können. Ist eine Schnittstelle für den Datentransfer zwischen PC und PPS-Host vorhanden, so lassen sich PCs mit spezialisierten Planungsaufgaben ohne große Investitionskosten in das PPS-System integrieren. Dieser Weg wurde im Rahmen einer Praxisanwendung bei dem Unternehmen Linotype-Hell AG<sup>7</sup> Kiel verfolgt. Die Ergebnisse der Untersuchung werden in dieser Arbeit vorgestellt.

Zunächst schildern wir hierzu in Abschnitt B das spezielle Planungsproblem des Unternehmens. Da ein Verfahren zur Lösung des Problems aus der Literatur nicht bekannt ist, präsentieren wir in Abschnitt C ein neues Verfahren. In Abschnitt D gehen wir auf die Ergebnisse ein, die im Rahmen der Praxisanwendung erzielt wurden. Zur näheren Analyse der Planungsqualität des Verfahrens wurde ferner eine numerische Untersuchung durchgeführt, deren Ergebnisse in Abschnitt E erläutert werden.

## **B. Das Planungsproblem und seine Daten**

Die Linotype-Hell AG Kiel stellt in einem mehrstufigen Produktionsprozeß hochmoderne Geräte der Satz- und Drucktechnik her. Zur Produktionsplanung und -steuerung wird ein auf dem MRP II-Konzept basierendes PPS-System eingesetzt. Dabei werden u. a. im Rahmen der Termindisposition die Bearbeitungsreihenfolgen einzelner Bauteile für die Fräsmaschine BZV07-2000 (s. Abb. 1) festgelegt. Regelmäßige Terminüberschreitungen führten dazu, daß über eine Entlastung der Maschine nachgedacht wurde. Alternativen wie die Beschaffung einer weiteren Fräsmaschine und/oder die

---

<sup>5</sup>Vgl. Drexl et al. (1994).

<sup>6</sup> Vgl. Dilts und Ramsing (1989).

<sup>7</sup>Weltweit beschäftigt die Linotype-Hell AG ca. 3000 Mitarbeiter.

Nutzung der sogenannten verlängerten Werkbank (Fremdbezug) wurden in Betracht gezogen. Derartige Entscheidungen sind mit beträchtlichen Investitionskosten und/oder Kosten für Fremdbezug sowie einem unerwünschten Know-How-Transfer verbunden. Daher wurde beschlossen, ein Projekt zu starten mit dem Ziel einer deutlich verbesserten Nutzung der Kapazität der Maschine. Hierzu war es erforderlich, ein spezialisiertes Verfahren unter Berücksichtigung der für die Ablaufplanung relevanten technischen Aspekte und Einflußgrößen zu entwickeln.

\*\*\*\*\*Abbildung 1 \*\*\*\*\*

*Technischer Ablaufprozeß*

In dem Unternehmen werden an der Fräsmaschine insgesamt 12 unterschiedliche Teile bearbeitet. Der Maschine sind keine weiteren Produktionsstufen vorgelagert. Die einzelnen Teile erfordern unterschiedliche Rüstzustände der Fräsmaschine. Die Rüstzustände unterscheiden sich hinsichtlich sequentiell abzuarbeitender Fräsprogramme, anzubringender Werkzeuge und zu montierender Halterungen. Der Wechsel eines Fräsprogramms erfordert auch eine Veränderung der benötigten Halterungen. Somit ist bei einem Los, das mehrere Fräsprogramme durchläuft, der Anfangsrüstzustand der Maschine zu Beginn des Loses und der Endrüstzustand nach Fertigstellung des Loses unterschiedlich. Durchläuft ein Los mehrere Fräsprogramme, so ist darauf zu achten, daß ein Teil auch erst dann weitergeleitet werden kann, wenn es sämtliche Fräsprogramme durchlaufen hat (Prinzip der geschlossenen Fertigung). Werden zwei Teile hintereinander produziert, die unterschiedliche oder gleiche Halterungen benötigen, so ist die Demontage und Montage bzw. keine Veränderung von Halterungen erforderlich. Die Rüstzeiten sind somit reihenfolgeabhängig.

*Reihenfolgeabhängige Rüstzeiten*

Bereits bei 12 Teilen können  $12 \cdot 12 = 144$  verschiedene Rüstwechsel auftreten. Für jeden Rüstwechsel die Dauer zu messen, ist sehr aufwendig. Bei einer noch größeren Anzahl von Teilen wird man bald erkennen, daß ein derartiges Vorgehen nicht mehr mit vertretbarem Aufwand durchführbar ist. So sind beispielsweise bereits bei 100 Teilen 10.000 verschiedene Rüstwechsel möglich. Wesentlich einfacher ist es, die Zeit einzelner Arbeitsgänge, die für das Auf- und Abrüsten einer Maschine für ein bestimmtes Teil erforderlich sind, zu messen. Daraus lassen sich dann die reihenfolgeabhängigen Zeiten ableiten, wie in dem folgenden (vereinfachten) Beispiel gezeigt wird.

**Beispiel 1:** Damit die Maschine ein Teil bearbeiten kann, muß das entsprechende Fräsprogramm eingelesen und die richtigen Werkzeuge und Halterungen montiert sein. Dabei kann es notwendig sein, bereits montierte aber ungeeignete Werkzeuge und Halterungen zu demontieren. Tabelle 1 enthält die Dauern der Arbeitsgänge, die durchzuführen sind, wenn die Fräsmaschine für Teil A und B gerüstet bzw. abgerüstet wird. Beispielsweise durchläuft Teil A die beiden Fräsprogramme FA1 und FA2. Das

Einlesen von Fräsprogramm FA1 dauert 2 Minuten. Um FA1 durchzuführen, müssen - hier nicht näher spezifizierte - Werkzeuge und die Halterung H1 montiert sein.

Tab. 1: Dauern der Arbeitsgänge der Rüstvorgänge [in Minuten]

Teil	Fräsprogramme		Werkzeuge		Halterungen		
	Bezeichnung	Einlesen	Montage	Demontage	Bezeichnung	Montage	Demontage
A	FA1	2	1	1	H1	4	2
	FA2	4	4	4	H2	22	7
B	FB3	3	2	2	H1	4	2

Unter Verwendung der Angaben in Tabelle 1 kann die Rüstzeit, die ein Rüstvorgang von einem Teil zu einem anderen Teil dauert, berechnet werden. Dabei sind nur die jeweils erforderlichen Arbeitsgänge zu berücksichtigen. Beispielsweise ergibt sich für den Rüstvorgang "von Teil A nach Teil B" folgende Berechnung:

Arbeitsgang	Dauer in Minuten
Werkzeugdemontage	4
H2 Demontieren	7
FB3 einlesen	3
Werkzeugmontage	2
H1 Montage	4
<b>Gesamt</b>	<b>20</b>

Wird ein Los von Teil A bearbeitet, so wird nach Ablauf von FA1 der Rüstzustand der Maschine verändert. Bei der Berechnung der Rüstzeit für den Rüstvorgang "von Teil A nach Teil A" ist daher zu beachten, daß einmal zu Beginn und einmal zwischenzeitlich Halterungen und Werkzeuge gewechselt werden. Somit erhalten wir die weiteren reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten zwischen den Teilen A und B entsprechend der folgenden Tabelle.

von\nach	A	B
A	51	20
B	32	0

### Verfügbare Kapazität

Um eine kapazitierte Ablaufplanung durchzuführen, ist die vorhandene Kapazität zu bestimmen. Bei der Linotype-Hell AG wird die Fräsmaschine in zwei Schichten betrieben, wobei eine Schicht 7,5 Stunden dauert, so daß pro Arbeitstag die Fräsmaschine maximal 15 Stunden im Einsatz ist. Störungen,

Wartungsarbeiten und sonstige Einflüsse erfordern erfahrungsgemäß einen Kapazitätsabschlag von 20%, so daß von einer Maschinenkapazität von 12 Stunden pro Arbeitstag auszugehen ist.

### *Kapazitätsbedarf*

Die Linotype-Hell AG verfügt i.d.R. über einen terminierten Auftragsbestand von drei Monaten (kurzfristige Planung). Darüber hinaus wird auf der Basis von Prognosen und vorhanden Aufträgen eine Sollplanung für ein Jahr (mittelfristige Planung) durchgeführt. Im Rahmen der Primärbedarfsplanung werden unter Verwendung von Stücklisten und Vorlaufzeiten die terminierten Bedarfe der Teile ermittelt, die an der Fräsmaschine zu bearbeiten sind. Zusammen mit den Stückbearbeitungszeiten läßt sich somit der Kapazitätsbedarf für die Bearbeitung der Teile berechnen. Der Kapazitätsbedarf für die Rüstvorgänge ist abhängig von der Anzahl gebildeter Lose und der Reihenfolge, in der die Lose bearbeitet werden - und somit Ergebnis der Planung.

### *Kosten*

In unserem Fall sind die Rüst- und Lagerkosten entscheidungsrelevant. Bei der Bestimmung der Rüstkosten wurden lediglich Rüstzeiten mit dem Arbeitsstundensatz bewertet. Ausreichender Lagerplatz und keine besonderen Handlingskosten führten dazu, lediglich Kapitalbindungskosten für die Lagerung von Teilen zu erfassen. Als Zinssatz wurde der marktübliche Kreditzinssatz verwendet.

Die einzelnen Daten werden wir im nächsten Abschnitt zur Bestimmung eines an der Fräßmaschine technisch umsetzbaren Ablaufplanes verwenden.

## **C. Verfahren zur Losgrößen- und Ablaufplanung bei reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten**

Trotz hoher Praxisrelevanz ist die Integration der Ablaufplanung in die Losgrößenplanung erst in den letzten Jahren vorangetrieben worden. Ein Verfahren, in dem neben reihenfolgeabhängigen Rüstkosten auch Kapazitätsbeschränkungen berücksichtigt werden, wird von Fleischmann vorgeschlagen<sup>8</sup>. Das Verfahren basiert auf der Annahme, daß ein Rüstvorgang nur zu Beginn einer Periode (Tag oder Schicht) erfolgt und eine Periode vollständig oder gar nicht zur Produktion genutzt wird. Drexl und Jordan vergleichen Standardsolver zur optimalen Lösung von Maschinenbelegungsproblemen unter Berücksichtigung von Lagerkosten sowie von reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und -kosten<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup>Siehe Fleischmann (1994).

<sup>9</sup>Siehe Drexl und Jordan (1993).

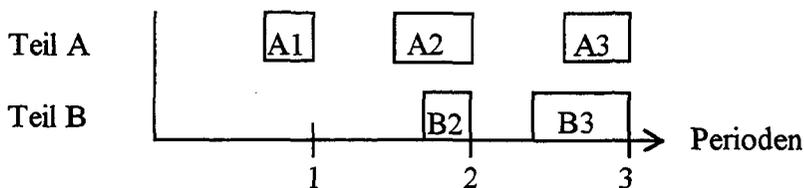
Haase betrachtet ein Modell, bei dem der Rüstvorgang zu einem beliebigen Zeitpunkt starten kann und die Losgrößen lediglich durch die Kapazität beschränkt werden<sup>10</sup>. Zur Lösung des Problems wird ein sogenanntes Stichprobenverfahren vorgeschlagen, das auf zwei wesentlichen Ideen basiert :

- Der Ablaufplan wird retrograd generiert, d.h. zunächst werden die Losgrößen- und Reihenfolgeentscheidungen in der Planungshorizontperiode  $t=T$  bestimmt, dann in Periode  $t=T-1$ , usw. bis zur ersten Planungsperiode  $t=1$ .
- Die Entscheidung, ein Los von einem Teil in einer Periode aufzulegen, erfolgt zufällig, wobei die Auswahlwahrscheinlichkeit proportional zu einem Prioritätswert ist. Ein Ablaufplan entsteht somit aus einer Folge von Zufallsentscheidungen. Bei einer großen Anzahl von Durchläufen (Stichprobenumfang) des Verfahrens werden viele unterschiedliche Ablaufpläne generiert, aus denen der kostenminimale ausgewählt wird.

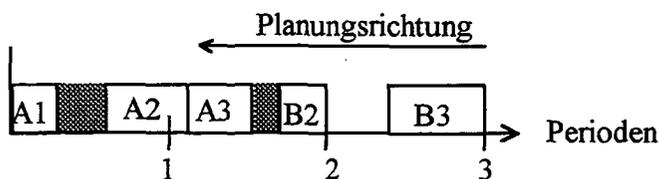
Zur Übertragung der Verfahrensideen für die Ablaufplanung der Fräsmaschine ist ein geeigneter Prioritätswert zu bestimmen. Bei (zufälliger) Auswahl eines Teils ist darauf zu achten, daß die Kapazitätsrestriktionen nicht verletzt werden. Wir benötigen daher einen sogenannten *Kapazitätscheck*, in dem insbesondere (reihenfolgeabhängige) Rüstzeiten berücksichtigt werden. Zunächst erläutern wir die grundsätzliche Vorgehensweise einer rückwärtsorientierten Generierung eines Ablaufplans.

#### *Generierung eines Ablaufplans für die Fräsmaschine*

Um die besonderen Aspekte zu verdeutlichen, die bei retrograder Generierung eines Ablaufplans für die Fräsmaschine zu berücksichtigen sind, betrachten wir die folgenden Abbildungen:



**Abb. 2a:** Bedarfe in Kapazitätseinheiten



**Abb. 2b:** Gantt-Diagramm

In Abbildung 2a sind Periodenbedarfe für Teil A und Teil B in Form von Rechtecken (s. A1,A2,A3 bzw. B2,B3) abgebildet, wobei die Länge eines Rechtecks der Dauer entspricht, den jeweiligen Bedarf zu produzieren. Die Distanz zwischen der linken und der rechten Grenze einer Periode entspricht der

<sup>10</sup>Siehe Haase (1994a) und Haase (1994b).

verfügbaren (zeitlichen) Kapazität. Die Dauer, die Maschine (vom Endrüstzustand) von Teil A auf den (Anfangsrüstzustand) Teil A zu rüsten, ist größer null. Dagegen nimmt der entsprechende Rüstvorgang für Teil B keine Zeit in Anspruch. Abbildung 2b enthält einen Ablaufplan zur termingerechten Produktion der Bedarfe aus Abbildung 2a), wobei die Rüstzeiten durch graue Blöcke gekennzeichnet sind. In der Periode  $t=3$  wurde zunächst Teil B (zufällig) ausgewählt. Nach der Einplanung von Teil B in Periode  $t=3$  wurde Teil B erneut gewählt. Da in Periode  $t=3$  kein Bedarf mehr von Teil B zu befriedigen ist, wandern wir der Zeitachse dem Planungsbeginn soweit entgegen, bis wir auf einen erneuten Bedarf in unserem Bedarfsdiagramm (Abb. 2a) von Teil B stoßen, d.h. bis zur Periode  $t=2$ . Der Rüstzustand bleibt dabei unverändert und die Maschine steht still, so daß ein Rüstvorgang für Teil B vermieden wurde. Trotzdem ist zu fragen, ob nicht durch die Nichtnutzung der Restkapazität in Periode  $t=3$  zwangsläufig ein unzulässiger Plan entsteht. Wir werden darauf weiter unten bei der Erläuterung des *Kapazitätschecks* zurückkommen. Nach dem Einplanen der Bedarfsmenge B2 in Periode  $t=2$  wurde Teil A ausgewählt. In der praktischen Realisierung des Plans erfolgt somit ein Rüstvorgang von Teil A nach B in Periode  $t=2$ . Da die in Periode  $t=2$  von Teil A zu produzierende Menge ( $A_2+A_3$ ) zu groß ist, um sie vollständig in  $t=2$  einzuplanen, erstreckt sich die Produktion von Teil A über die Perioden  $t=1$  und  $t=2$ . In Periode  $t=1$  ist der Bedarf von Teil A1 noch zu befriedigen, der aber nicht in das für Teil A bereits eingeplante Los aufgenommen werden kann, da für Teil A das Prinzip der geschlossenen Fertigung gilt. Um bei der Realisierung des Plans Terminverzögerungen zu vermeiden, ist ein Rüstwechsel von A nach A zu berücksichtigen. Bei genauer Betrachtung des Ganttendiagramms in Abbildung 2b stellen wir fest, daß der Plan eventuell unzulässig ist. Zu Beginn des Planungszeitraumes ist kein Rüstvorgang eingeplant. Inwieweit ein Rüstvorgang erforderlich ist, hängt vom Initialrüstzustand zu Beginn des Planungszeitraumes ab.

Zur formalen Definition des Prioritätswertes und zur Erläuterung des Kapazitätscheck ist es erforderlich, einige Symbole einzuführen:

#### *Indizes*

$\tau, t$  Periode

$i, j$  Teil

#### *Daten*

$BZ_j$  Stückbearbeitungszeit von Teil  $j$

init Initialrüstzustand

$J$  Anzahl Teile

$K_t$  Kapazität in Periode  $t$

$KK_t$  kumulierte Kapazität von der Periode  $\tau=1$  bis zur Periode  $\tau=t$

$LK_j$  Lagerkosten pro Mengeneinheit und Periode von Teil  $j$

$NB_{jt}$  Nettobedarf von Teil  $j$  in Periode  $t$

- $RK_{ij}$  Kosten des Rüstvorganges "von Teil i nach Teil j"  
 $RZ_{ij}$  Zeit des Rüstvorganges "von Teil i nach Teil j"  
 $T$  Planungshorizont

#### Variablen

- $GB$  Kapazität, die insgesamt noch zur Produktion der noch nicht eingeplanten Bedarfsmengen ohne Berücksichtigung von Rüstzeiten benötigt wird  
 $q_{jt}$  Menge von Teil j, die in Periode t produziert wird  
 $VK_t$  Kapazität, die unter Berücksichtigung der bereits eingeplanten Produktionsmengen in Periode t noch zur Verfügung steht  
 $UB_{jt}$  Menge der von Teil j in den Perioden  $\tau=t, \dots, T$  unbefriedigten Bedarfe, die noch in den Perioden  $\tau=1, \dots, t$  zu produzieren ist

#### Kapazitätscheck

Ein Kapazitätscheck wird insbesondere dann erforderlich, wenn wir bei retrograder Bestimmung der Produktionsmengen eine Periode t verlassen und zu einer Vorperiode  $\tau < t$  wechseln und dabei Kapazität in den Perioden  $\tau+1, \dots, t$  ungenutzt bleibt<sup>11</sup>. Ein solcher als *Sprung* bezeichneter Verfahrensschritt ist nur dann zulässig, wenn die kumulierte Kapazität bis zur Periode  $\tau$  mindestens so groß ist, wie die Kapazität, die zur Produktion der noch nicht eingeplanten Bedarfe benötigt wird. Weiterhin ist zusätzliche Kapazität für Rüstvorgänge vorzuhalten. Wir erlauben daher einen Sprung von Periode t zur Periode  $\tau < t$  nur dann, wenn gilt:

$$GB \leq KK_{\tau} (1 - \gamma)$$

Der Parameter  $\gamma \in [0, 1]$  reduziert die vom Planungsbeginn bis zur Periode  $\tau$  verfügbare Kapazität um das  $\gamma$ -fache, so daß Kapazität für Rüstvorgänge vorgehalten wird.

**Bemerkung:** Bei der Generierung des Ablaufplans gemäß Abbildung 2b ist ein Kapazitätscheck nach der Einplanung von B3 in Periode 3 erforderlich: Die anschließende Einplanung von B2 ist nur dann zulässig, wenn der "Kapazitätsbedarf für die Bedarfe A1, A2, A3 und B2" kleiner gleich  $KK_2 \cdot (1 - \gamma)$  ist.

Grundsätzlich wird ein Teil nur dann in einer Periode eingeplant, wenn von dem Teil Bedarfe in der Periode zu befriedigen sind oder durch einen zulässigen Sprung Rüstkosten eingespart werden können.

---

<sup>11</sup>Vgl. Periode 3 in Abbildung 2b.

**Definition:** Ein Teil  $j$  ist *unzulässig* in einer Periode  $t$ , wenn kein Bedarf von Teil  $j$  unbefriedigt ist oder die Einplanung von Teil  $j$  einen unerlaubten Sprung zur Periode  $\tau < t$  erfordert, andernfalls ist Teil  $j$  *zulässig*.

### *Bestimmung eines Prioritätswertes*

Wird die Menge  $UB_{jt}$  statt in Periode  $t-1$  in Periode  $t$  unmittelbar vor Teil  $i$  eingeplant, so werden zum einen Lagerkosten in Höhe von  $LK_j \cdot UB_{jt}$  eingespart und zum anderen Rüstkosten in Höhe von  $RK_{ji}$  verursacht. Wir definieren daher folgenden Prioritätswert für Teil  $j$  in Periode  $t$ :

$$r_{jt} := (1 - \alpha) LK_j \cdot UB_{jt} - \alpha \cdot RK_{ji}$$

Der Parameter  $\alpha \in [0, 1]$  erlaubt eine unterschiedliche Gewichtung der Lager- und Rüstkosten. Mit dem Prioritätswert  $r_{jt}$  werden die Opportunitätskosten geschätzt, die entstehen, wenn Teil  $j$  *nicht* in Periode  $t$  produziert wird, d.h. es ist ein Maß für die Dringlichkeit, Teil  $j$  in Periode  $t$  zu produzieren. Bei der Auswahl eines Teil ist dabei nicht die absolute Höhe der Kosten entscheidend, vielmehr sind die Unterschiede (Differenzen) der Kosten maßgeblich. Inwieweit Kosten unterschiedlich sind, messen wir durch Gegenüberstellung der Kosten einer Alternative mit den Kosten der schlechtesten Alternative. Sei

$$r_t^{\min} := \min \{ r_{jt} \mid j = 1, \dots, J \wedge j \text{ ist zulässig} \}.$$

Für ein in Periode  $t$  zulässiges Teil  $j$  wird somit folgendes Regretmaß<sup>12</sup> abgeleitet:

$$\rho_{jt} := (r_{jt} - r_t^{\min} + \varepsilon)^\delta$$

Dieses Regretmaß entspricht einem teilespezifischen nicht-negativen Wert und drückt die Opportunitätskosten (Regrets, Fehlentscheidungskosten) dafür aus, daß Teil  $j$  in Periode  $t$  *nicht* produziert wird. Der Parameter  $\varepsilon > 0$  stellt sicher, daß jedes zulässige Teil ein positives Regret und somit auch eine positive Auswahlwahrscheinlichkeit erhält. Der Parameter  $\delta \geq 0$  transformiert den Term  $(.)$  exponentiell so, daß für  $\delta < 1$  ( $\delta > 1$ ) die teilespezifischen Opportunitätskosten verkleinert (vergrößert) werden. Eine Möglichkeit, die Parameter festzulegen ist, sie vor jedem Verfahrensdurchlauf zufällig zu bestimmen, wobei sich  $\alpha, \gamma \in [0, 1]$ ,  $\varepsilon = 1$  und  $\delta \in [0, 10]$  in numerischen Untersuchungen bewährt haben.

**Beispiel 2:** Sei  $J=2$  und  $T=3$ . Die Tabellen 2 und 3 enthalten Daten<sup>13</sup> und Initialwerte von Variablen, die zur Bestimmung eines Ablaufplans für die Fräsmaschine benötigt werden.

---

<sup>12</sup>Vgl. Drexl (1991).

**Tab. 2: Periodenabhängige Daten und Variablen**

t	$K_t$	$KK_t$	$NB_{At}$	$NB_{Bt}$	$q_{At}$	$q_{Bt}$
1	10	10	3	0	0	0
2	10	20	5	3	0	0
3	10	30	4	6	0	0

**Tab. 3: Teileabhängige Daten und Variablen**

j	$LK_j$	$BZ_j$	$RZ_{jA}$	$RZ_{jB}$	$RK_{j0}$	$RK_{jA}$	$RK_{jB}$
A	1	1	3	1	0	30	10
B	1	1	2	0	0	20	0

Da beim erstmaligen Berechnen der Prioritätswerte der Rüstzustand am Planungshorizont zunächst nicht gegeben ist, haben wir  $RK_{j0}$  eingeführt. Ferner seien der Initialrüstzustand  $init=B$ , die Parameter zur Bestimmung des Regretmaß  $\alpha=0.5$ ,  $\varepsilon=1$  und  $\delta=1$  sowie für den Kapazitätscheck  $\gamma=0.3$ . Die in einem Verfahrensschritt vorgenommene Erhöhung von  $q_{jt}$  wird mit  $\Delta q_{jt}$  bezeichnet. Weiterhin bedeutet  $\Delta RZ_t$  die in Periode t (zusätzlich) eingeplante Rüstzeit. Unter der Annahme, daß (zufällig) jeweils die Alternative mit der höchsten Auswahlwahrscheinlichkeit gewählt wird, erhalten wir das in Tabelle 4 wiedergegebene Ablaufprotokoll des Verfahrens.

**Tab. 4: Ablaufprotokoll des Stichprobenverfahrens für eine Iteration**

t	i	$\Delta q_{At}$	$\Delta q_{Bt}$	$UB_{At}$	$UB_{Bt}$	GB	$\Delta RZ_t$	$VK_t$	$r_{At}$	$r_{Bt}$	$\rho_{At}$	$\rho_{Bt}$
3	0	-	-	4	6	21	-	10	2	3	1	2
	B	-	6	4	0	15	-	4	-	-	-	-
	B	-	-	4	0	15	-	4	2	-	1	-
	A	3	-	1	0	12	1	0	-	-	-	-
2	A	1	-	5	3	11	-	9	-	-	-	-
2	A	-	-	5	3	11	-	9	-12.5	-8.5	1	5
	B	-	3	5	0	8	2	4	-	-	-	-
	B	-	-	5	0	8	-	4	-2.5	-	1	-
	A	3	-	2	0	5	1	0	-	-	-	-
1	A	2	-	3	0	3	-	8	-	-	-	-
	A	-	-	3	0	3	-	8	-13.5	-	1	-
	A	3	-	0	0	0	3	2	-	-	-	-
	B	-	-	0	0	0	2	0	-	-	-	-

<sup>13</sup>Die zur Konstruktion der obigen Abbildungen 2a und 2b verwendeten Daten basieren auf den entsprechenden Angaben in den Tabellen 2 und 3.

Dabei berechnet sich beispielsweise das Regretmaß  $\rho_{A3}$  von Teil A in Periode 3 wie folgt:

$$\left. \begin{aligned} r_{A3} &= (1-0.5) \cdot 1 \cdot 4 - 0.5 \cdot 0 = 2 \\ r_{B3} &= (1-0.5) \cdot 1 \cdot 6 - 0.5 \cdot 0 = 3 \end{aligned} \right\} \Rightarrow r_t^{\min} = 2 \Rightarrow \rho_{A3} = (2-2+1)^1 = 1$$

Da  $\rho_{B3} > \rho_{A3}$ , wird gemäß obiger Annahme zuerst Teil B ausgewählt. Teil B kann anschließend nicht erneut ausgewählt werden (um Rüstkosten zu sparen), da aufgrund des Kapazitätschecks,  $15 > KK_2(1-0.3)$ , Teil B unzulässig wird. Der Plan ist insgesamt zulässig, da alle Bedarfe termingerecht ohne Kapazitätsverletzungen eingeplant werden. Insbesondere ist zu beachten, daß zum Planungsbeginn Rüstzeit für den Rüstvorgang "von Initialrüstzustand zu Teil B" eingeplant wird. Der zulässige Ablaufplan ergibt einen Zielfunktionswert von  $Z=93$ .

#### D. Ergebnisse

Entscheidungen hinsichtlich der Auslagerung von Produkten oder der Kauf einer zusätzlichen Maschine sind mittelfristiger Natur und führen zu Verlusten in der Wertschöpfungskette<sup>14</sup> oder erfordern erhebliche Investitionen. Derartige Entscheidungen sind allerdings nur dann erforderlich, wenn mittelfristig die Kapazität unzureichend ist. Daher wurde zunächst der Frage nachgegangen, ob mittelfristig ausreichend Kapazität zur Verfügung steht. Der Kapazitätsbedarf ist abhängig von den zu produzierenden Bedarfen und den hierzu erforderlichen Rüstvorgängen. Zur Abschätzung der mittelfristigen Kapazitätsauslastung wurde ein Planungszeitraum von einem Jahr gewählt. Im Rahmen unserer Untersuchung wurde das Jahr 1993 betrachtet. Die für das Jahr zu produzierenden Mengen wurden aus vorhandenen Auftragsbeständen und Prognosen abgeleitet. Mit dem Stichprobenverfahren wurde ein zulässiger Plan generiert, d.h. es wurde gezeigt, daß mittelfristig die Bedarfsmengen mit der zur Verfügung stehenden Kapazität ohne Terminverzögerungen realisierbar sind.

Kurzfristig sind Abweichungen zwischen den prognostizierten und den tatsächlichen Bedarfen zu erwarten, so daß eine laufende revidierende Planung erforderlich wird. Vom PPS-System wird zur Auftragsfreigabe ein Ablaufplan zur Befriedigung der aktualisierten Bedarfe der nächsten drei Monate bereitgestellt. Exemplarisch wurde für das vierte Quartal 1993 ein Plan mit dem Stichprobenverfahren generiert. Der Vergleich der Pläne ergab:

- Die Lager- und Rüstkosten werden um mehr als 40% durch den Einsatz des Stichprobenverfahrens gesenkt. Absolut gesehen, handelt es sich dabei um Einsparungen von mehreren TDM.
- Während vom PPS-System einige Bedarfe verspätet eingeplant wurden, gewährleistete der vom Stichprobenverfahren generierte Plan die Einhaltung aller Termine ohne Kapazitätsverletzungen.

Die von dem Stichprobenverfahren generierten Ablaufpläne besitzen somit eine deutlich höhere Qualität als die vom PPS-System vorgeschlagenen Pläne. Besonders positiv hervorzuheben ist, daß die Pläne

<sup>14</sup>Vgl. Günther und Tempelmeier (1995, S. 1)

auch eine hohe Akzeptanz bei den Bedienern der Fräsmaschine fand. Um die mittelfristig und kurzfristig geplanten Absatzmengen zu realisieren, ist der Einsatz einer verlängerten Werkbank oder der Zukauf einer weiteren Maschine<sup>15</sup> nicht erforderlich. Daraus ergeben sich beträchtliche Kosteneinsparungen<sup>16</sup>. Festzuhalten ist, daß die Projektkosten im Vergleich zu den Einsparungen unwesentlich sind.

Insgesamt wird daher festgestellt, daß die Planungsqualität durch den Einsatz von Planungsmethoden zur integrierten Losgrößen- und Ablaufplanung bei reihenfolgeabhängigen Rüstvorgängen deutlich verbessert wird. Die Vorteile gegenüber einem auf dem sukzessiven Planungskonzept basierenden PPS-System lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Durch die Berücksichtigung der Kapazität bei der Losbildung entfällt der Kapazitätsabgleich.
- Die explizite Berücksichtigung von reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten führt zu einer verbesserten Ablaufplanung.

Für diesen einzelnen Anwendungsfall hat das Verfahren die Planungsqualität erheblich verbessert. Um aber eine genauere Erkenntnis hinsichtlich der Lösungsqualität des Verfahrens zu erhalten, ist eine umfangreichere numerische Untersuchung erforderlich.

## E. Numerische Untersuchung

Anhand der folgenden Testdatensätze wurde ein Vergleich mit dem Verfahren DLSP/SD (Discrete Lot-Sizing and Scheduling with Sequence Dependent Costs) von Fleischmann<sup>17</sup> vorgenommen:

- TV11/S<sub>i</sub>, TV12/S<sub>i</sub>, TV13/S<sub>i</sub> und TV14/S<sub>i</sub> (i=0,...,6)
- PR1, PR2, PR3, PR4.

Alle Datensätze beinhalten keine Rüstzeiten. PR1-PR4 sind Praxisdatensätze aus der Nahrungsmittelindustrie. TV11 bis TV14 unterscheiden sich nur hinsichtlich der Kapazitätsauslastung (97%, 95%, 76% bzw. 64%). S<sub>0</sub>, ..., S<sub>6</sub> verweisen auf unterschiedliche Rüstkostenmatrizen<sup>18</sup>.

DLSP/SD berücksichtigt keine (reihenfolgeabhängigen) Rüstzeiten, sondern lediglich reihenfolgeabhängige Rüstkosten. Weiterhin wird vorausgesetzt, daß während der Produktion bereits fertiggestellte Teilmengen eines Loses sofort weiterverwendet werden können (offene Fertigung). In DLSP/SD werden die Perioden t=1 bis t=T in Teilperioden (Schicht, Tag) gleicher Länge unterteilt. Ein

---

<sup>15</sup>Die Einrichtung eines weiteren Bearbeitungszentrums mit einer Maschine kostet ca. 500 TDM. Hinzu kommen gegebenenfalls laufend anfallende Personalkosten.

<sup>16</sup>Detaillierte Angaben zu den Kosten werden auf Wunsch der Unternehmensleitung nicht veröffentlicht.

<sup>17</sup>Vgl. Fleischmann (1994).

<sup>18</sup>Die Datensätze mit S<sub>0</sub> entsprechen den Beispielen mit reihenfolgeunabhängigen Rüstkosten, die von Thizy und Van Wassenhove (1985) betrachtet wurden.

Los von einem Erzeugnis ist stets ein Vielfaches der Menge, die in einer vollen Teilperiode von dem Teil produzierbar ist (diskrete Losgrößen). Dadurch besteht die Möglichkeit, daß zuviel von einem Produkt produziert wird. Die Überproduktion induziert Lagerkosten, die durch eine geeignete Reduktion der letzten Produktionsmenge eines Teils vermieden werden<sup>19</sup>. Bei den von Fleischmann untersuchten Datensätzen sind die reihenfolgeabhängigen Rüstkosten so gewählt, daß die Rüstkosten nach einer Teilperiode, in der die Maschine still stand, stets am geringsten sind. Das Stichprobenverfahren ist daher dahingehend modifiziert worden, daß bei der Einplanung eines Teils optional die "Rüstzeit" einer Teilperiodenlänge berücksichtigt wird. Wird eine Rüstzeit eingeplant, so werden auch die günstigeren Rüstkosten wie beim DLSP/SD berechnet. Die Modifikationen der Lösungen des DLSP/SD und des Stichprobenverfahrens führen zu den in Tabelle 5 wiedergegebenen reduzierten Kosten. Dabei zeigt sich, daß das Stichprobenverfahren im Vergleich zum DLSP/SD deutlich kostengünstigere Lösungen liefert.

---

<sup>19</sup>Vgl. Fleischmann (1990).

**Tab. 5 Vergleich der reduzierten Kosten vom DLSP/SD und dem Stichprobenverfahren<sup>a)</sup>**

Problem	Anzahl Teile	Anzahl Perioden	Anzahl Teil- perioden	DLSP/SD	Stichproben- verfahren	$\Delta\%$
TV11/S0	8	8	63	8680	7250	16,47
TV12/S0	8	8	64	7920	7290	7,95
TV13/S0	8	8	80	7840	6950	11,35
TV14/S0	8	8	96	7710	6620	14,14
TV11/S1	8	8	63	5024	3797	24,42
TV12/S1	8	8	64	4161	4114	1,13
TV13/S1	8	8	80	3359	3379	-0,01
TV14/S1	8	8	96	3136	3139	0,01
TV11/S2	8	8	63	7060	5450	22,80
TV11/S3	8	8	63	3021	2456	18,70
TV11/S4	8	8	63	7340	7210	1,77
TV11/S5	8	8	63	11100	8800	20,72
TV11/S6	8	8	63	7400	6220	15,95
PR1	9	8	120	21943	19667	10,37
PR2	9	8	80	40374	36558	9,45
PR3	3	26	230	36129	37049	-2,56
PR4	4	26	225	67177	67015	0,02

a) Stichprobenumfang: 1000 Iterationen

**Anmerkung:** Das Stichprobenverfahren generiert kontinuierliche Losgrößen, während das DLSP/SD diskrete Lose bildet. Steht die Maschine still, und werden keine Rüstvorgänge explizit eingeplant, so wird beim Stichprobenverfahren unterstellt, daß der Rüstzustand der Maschine unverändert bleibt. Beim DLSP/SD dagegen können nach einer Periode, in der die Maschine stillstand, niedrigere Rüstkosten als bei einem Rüstwechsel ohne Stillstand berücksichtigt werden. Somit liegen den Verfahren unterschiedliche Prämissen zugrunde. Daher ist nicht eindeutig festzustellen, daß das Stichprobenverfahren dem DLSP/SD überlegen ist. Für den häufig in der Praxis vorzufindenen Fall, daß kontinuierliche Lose gebildet werden können, ist das Stichprobenverfahren allerdings dem DLSP/SD vorzuziehen.

Neben der Lösungsqualität ist auch die Rechenzeit ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung eines Verfahrens. Insbesondere wenn Verfahren für kurzfristige Planungsaufgaben (z.B. Auftragsfreigabe) mit regelmäßigen Änderungen eingesetzt werden, sind kurze Antwortzeiten erforderlich. Die Rechenzeit und auch die Lösungsqualität des Stichprobenverfahrens hängen vom Stichprobenumfang ab.

Die Heuristik wurde in Turbo Pascal 6.0 auf einem 486DX/50MHz implementiert.

Tabelle 6 dokumentiert die Lösungsqualität in Abhängigkeit von der Anzahl der Iterationen für den Datensatz TV11/S1. Die durchschnittliche Rechenzeit beträgt hierbei 0.096 Sekunden pro Iteration und die Lösungsqualität verbessert sich mit zunehmender Iterationszahl.

**Tab. 6: Lösungsqualität in Abhängigkeit vom Stichprobenumfang TV11/S1**

Iterationen	10	50	100	1000	5000
bester Zielfunktionswert	4545	4388	3981	3899	3832
Dauer in Sekunden	1	5	10	96	479

Tabelle 7 zeigt die Rechenzeit in Abhängigkeit von der Anzahl der Produkte und der Perioden.

**Tab. 7: Rechenzeit in Abhängigkeit von der Problemgröße**

(Anzahl Teile, Anzahl Perioden)	(4,8)	(8,8)	(12,12)	(12,20)
Dauer in Sekunden	0.016	0.112	0.131	1.020

Die Rechenzeit steigt überproportional mit der Anzahl der Teile und/oder Perioden. Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß das Stichprobenverfahren bereits in wenigen Sekunden einen Plan berechnet. Die gesamte Rechenzeit und die Lösungsgüte hängt wesentlich vom Stichprobenumfang ab. Bei den im Rahmen dieser Untersuchungen verwendeten Testdatensätze hat sich eine Iterationszahl von 1000 bewährt.

Abschließend sei auf zukünftige Forschungsarbeiten hingewiesen: Das Stichprobenverfahren konstruiert eine Vielzahl unterschiedlicher Lösungen und gehört zu den Konstruktions- oder Eröffnungsverfahren<sup>20</sup>. Zu erwarten ist, daß durch anschließende Anwendung eines Verbesserungsverfahrens die Lösungsqualität erheblich gesteigert werden kann. Von besonderem Interesse sind dabei die sogenannten r-opt Verfahren<sup>21</sup>.

## Literatur

- Dilts, D. M.; Ramsing, K. D.: Joint lot sizing and scheduling of multiple items with sequence dependent setup costs. *Decision Science*, Vol. 20 (1989), S. 120-133.
- Dixon, P. S.; Silver, E. A.: A heuristic solution procedure for the multi-item, single-level, limited capacity lot-sizing problem. *Journal of Operations Management*, Vol. 2 (1981), S.23-39.

<sup>20</sup>Vgl. Domschke und Drexl (1991, S. 120)

<sup>21</sup>ebenda S. 121

- Domschke, W.; Drexel A.: Einführung in Operations Research. 2. Aufl., Berlin u.a. (Springer) 1991.
- Drexel, A.: Scheduling of project networks by job assignment. *Management Science*, Vol. 37 (1991), S. 1590-1602.
- Drexel, A.; Günther, H.-O.; Fleischmann, B.; Stadtler, H.; Templemeier, H.: Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme. *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Jg. 46 (1994), S. 1022-1045.
- Drexel, A.; Haase, K.; Kimms, A.: Losgrößen- und Ablaufplanung in PPS-Systemen auf der Basis randomisierter Opportunitätskosten. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*. Jg. 65 (1995), S. 23-41.
- Drexel, A.; Jordan, C.: Wissensbasierte Produktionsprozeßplanung. *Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung (ZWF CIM)*, Jg. 89 (1994), S. 119-121.
- Fleischmann, B.: The discrete lot-sizing and scheduling problem. *European J. of Operational Research*, Vol. 44 (1990), S. 337-348.
- Fleischmann, B.: The discrete lot-sizing and scheduling problem with sequence-dependent setup costs. *European J. of Operational Research*, Vol. 75 (1994), S. 395-404.
- Glaser, H.; Geiger, W.; Rohde, V.: PPS-Produktionsplanung und -steuerung, 2. Auflage, Wiesbaden (Gabler) 1992.
- Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik, 2. Aufl. Berlin u.a. (Springer) 1995.
- Haase, K.: Capacitated lot-sizing with linked production quantities of adjacent periods. *Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel*, Nr. 334 (1993).
- Haase, K.: Lotsizing and scheduling for production planning. Springer (Berlin) 1994a.
- Haase, K.: Capacitated lot-sizing with sequence dependent setup costs. *Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel*, Nr. 340 (1994b), (erscheint in OR Spektrum).
- Kirca, Ö.; Kökten, M.: A new heuristic approach for the multi-item dynamic lot sizing problem. *European J. of Operational Research*, Vol. 75 (1994), S. 332-341.
- Thizy, J.M.; Van Wassenhove, L.N.: Lagrangean relaxation for the multi-item capacitated lot-sizing problem: A heuristic implementation. *IIE Transactions*, Vol. 17 (1985), S. 308-313.

## Zusammenfassung

In diesem Beitrag zeigen wir, wie die Planungsqualität in einem Unternehmen durch die Integration der Ablaufplanung in die Losgrößenplanung erheblich gesteigert wurde. Gegenstand der Untersuchung war eine Fräsmaschine mit reihenfolgeabhängigen Rüstkosten und Rüstzeiten, wobei für einige Produkte das Prinzip der geschlossenen Fertigung galt. Da das beim Unternehmen eingesetzte PPS-System nur unzureichend reihenfolgeabhängige Rüstzeiten und Kapazitätsrestriktionen berücksichtigte, wurde zur

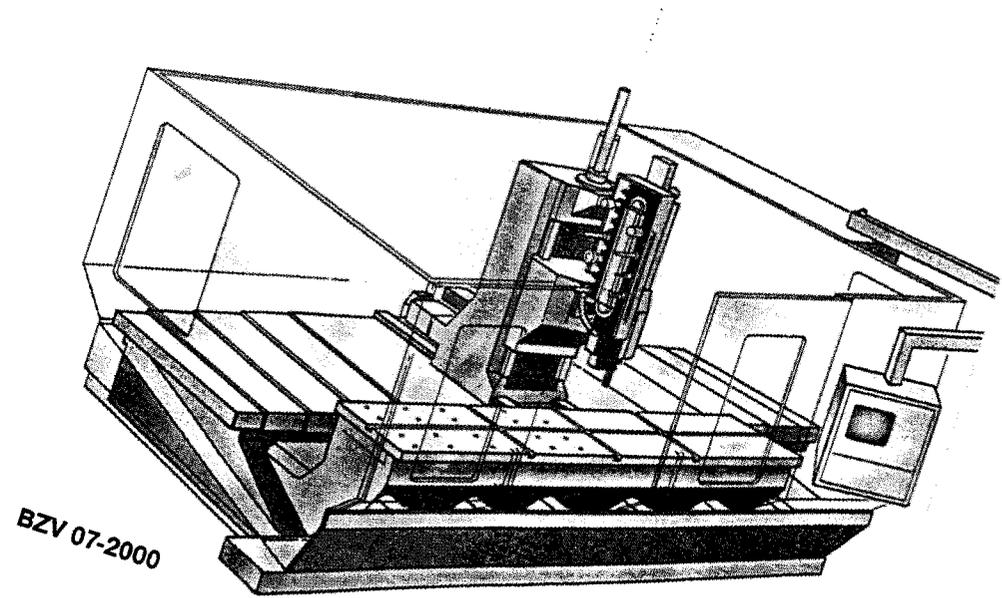
Verbesserung der Losgrößen- und Ablaufplanung ein sogenanntes Stichprobenverfahren entwickelt. Mit dem Verfahren wurde eine höhere Termintreue und eine effizientere Kapazitätsnutzung erzielt.

Im Rahmen einer numerischen Untersuchung wird zusätzlich gezeigt, daß das Stichprobenverfahren im Vergleich mit dem Verfahren von Fleischmann für das diskrete Losgrößen- und Ablaufplanungsproblem bei reihenfolgeabhängigen Rüstkosten ein hohe Lösungsqualität besitzt.

### **Summary**

The results of a case study in a company which produces high-tech reproduction machines are presented. For production planning and control the company run a computer based system which relies on the MRP II concept. The subject of our exploration is a milling machine in a closed shop environment. The setup-costs and -times of the machine are sequence dependent. To improve the scheduling of the milling machine a randomized sampling method has been developed. The application of the algorithm reduced the number of delayed orders substantially and lead to a more efficient capacity utilization.

In addition, by a computational study we show that the proposed random sampling method is very efficient in comparison with the approach of Fleischmann for the discrete lot-sizing and scheduling problem with sequence dependent setup costs.



BZV 07-2000

Abb. 1: Fräsmaschine