

## Industrielle Systeme- Teil IV

**Citation for published version (APA):**

Rooda, J. E., Arentsen, J. H. A., & Smit, G. H. (1993). Industrielle Systeme- Teil IV. *Fördern und Heben*, 43(5), 306-311.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1993

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Industrielle Systeme – Teil IV

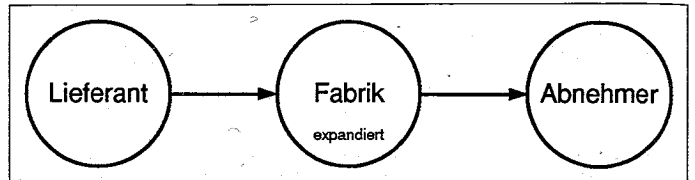
JACOBUS ELKMAN ROODA, JOHANNES HANS ARENTSEN, GERRIT HENK SMIT

**In dem vorliegenden letzten Teil der Serie wird der Prozeßkalkül (Prozeßrechnung) zur Modellierung einer Fabrik mit Job-Produktion angewendet. Dies wird anhand von vier speziellen und einem allgemeinen Modell erläutert.**

Im Teil III [1] wurden verschiedene Modelle von Fabriken mit einer Fließproduktion präsentiert. Im Teil IV werden verschiedene Modelle von Fabriken mit einer Job-Produktion vorgestellt. Bei der Fließproduktion bearbeitet man ein Produkt nur einmal auf einer Maschine. Bei der Job-Produktion kann dagegen ein Produkt mehrmals auf derselben Maschine bearbeitet werden. Eine Maschinenfabrik und eine Fabrik für die Herstellung integrierter Schaltungen (Chips) sind als Beispiele für Fabriken mit Job-Produktion anzuführen.

Mit Hilfe des Prozeßkalküls werden verschiedene Modelle von Systemen mit einer Job-Produktion erstellt, um die Betriebs-

1: Modell von Fabrik und Umgebung



charakteristik derartiger Systeme zu bestimmen. Damit kann man sich im voraus Erkenntnisse über die erforderlichen Produktionsmittel und die gewünschte Steuerung verschaffen. Besonders bei komplexen Job-Produktionssystemen, z.B. flexiblen Fertigungssystemen (FFS), erweist sich der Einsatz des Prozeßkalküls als vorteilhaft.

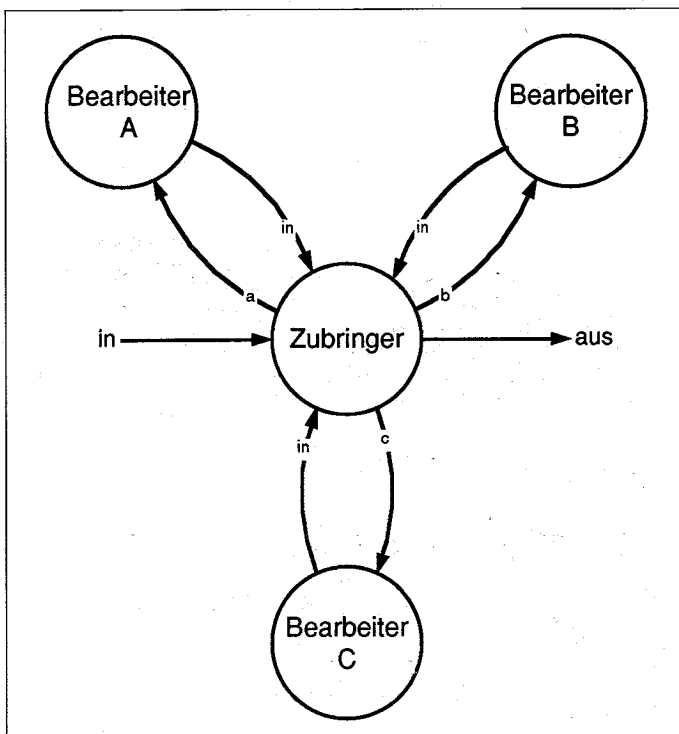
### Bearbeitungszentrum

Im ersten Modell einer Fabrik mit Job-Produktion wird ein System beschrieben, in dem man Produkte mit einem Bearbeitungszentrum herstellt. Das Bearbeitungszentrum enthält drei Bearbeiter und einen Zubringer. Jeder Bearbeiter führt jeweils eine andere Bearbeitung aus (a, b und c). Man geht davon aus, daß jedes Produkt drei (nicht unbedingt unterschiedlichen) Bearbeitungen unterzogen wird.

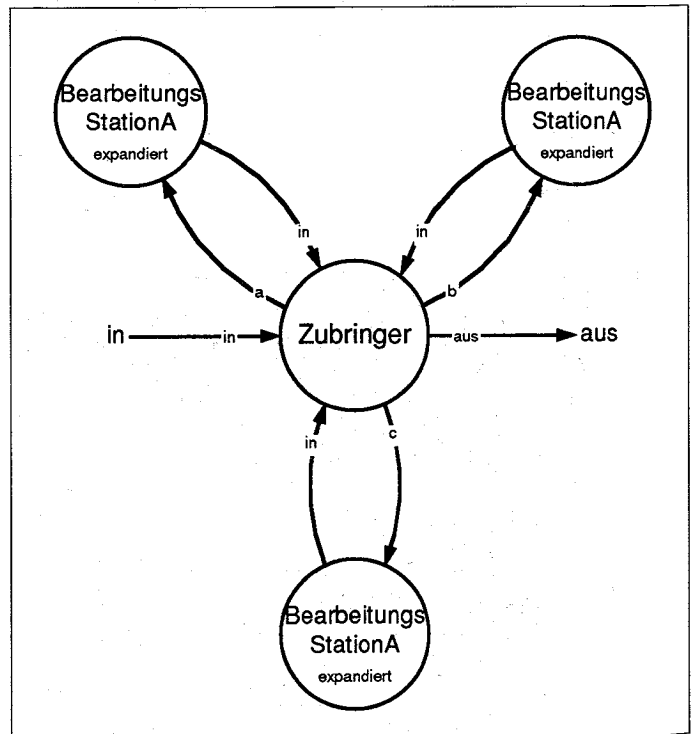
Insgesamt sind also 27 verschiedene Bearbeitungsfolgen realisierbar (aaa, aab, aac, aba, abb, abc, ... cba, cbb, cbc, cca, ccb, ccc). Weiterhin nimmt man an, daß die Bearbeitungen mit derselben Häufigkeit stattfinden.

Die Dauer eines jeden Bearbeitungsschritts ist im Durchschnitt gleich lang, ist gleichmäßig verteilt und liegt für jeden Bearbeiter zwischen ein und drei Minuten. Dabei bleiben Umrüstzeiten, Werkzeugwechsel, Transportzeiten und Störungen unberücksichtigt. Im Drei-Minuten-Takt liefert ein Zulieferer neues Material. Diese Zufuhr läßt sich im Prinzip vom System verarbeiten, da das System im Durchschnitt alle zwei Minuten ein Produkt abliefern kann.

Mit Hilfe des Prozeßkalküls wird ein Modell dieser Fabrik erstellt, mit dem sich feststellen läßt, ob die Zufuhr von diesem System verarbeitet werden kann. Das Bild 1 zeigt das Modell der Fabrik und ihrer



2: Modell der Fabrik



3: Modell der Fabrik bei Bearbeitungszentren mit Puffern

Umgebung. Der Lieferant, die Fabrik und der Abnehmer sind durch den (Blatt-)Prozessor Lieferant, den (expandierten), Prozessor Fabrik und den (Blatt-)Prozessor Abnehmer gekennzeichnet. Hinsichtlich der Definitionen der verwendeten Begriffe wird auf [2] verwiesen.

Der Abnehmer ist stets in der Lage, die montierten Produkte entgegenzunehmen. Der Lieferant versendet das Material. Es wird angenommen, daß der Lieferant die jeweilige Bearbeitungsfolge für jedes Material angibt. Dieser Sachverhalt wird in der folgenden Weise modelliert: am Material ist ein Beleg befestigt, auf der die verschiedenen Bearbeitungsfolgen aufgeführt sind. Diese Information läßt sich als ein auf dem Material befestigter Produktmitlaufzettel bezeichnen. Wenn ein Arbeiter einen Arbeitsgang ausgeführt hat, wird diese Bearbeitung auf dem Beleg gestrichen. Nachdem die drei Bearbeitungen stattgefunden haben, ist der Beleg somit abgearbeitet.

Zu diesem Zeitpunkt ist das Produkt fertiggestellt und läßt sich aus dem Bearbeitungszentrum entfernen.

Der Prozessor „Lieferant“ enthält drei Instance-Variablen. Jede Variable wird anfänglich an einen Zufallsgenerator gekoppelt. Der Abruf einer dieser Verteilungen wird den Wert „a“, „b“ oder „c“ zur Folge haben. Diese drei Ziehungen werden in einer geordneten Menge zusammengefaßt, die dem Material mitgegeben wird. Das Material mit dem dazugehörigen Beleg wird danach über den „aus“-Port an die Fabrik versandt.

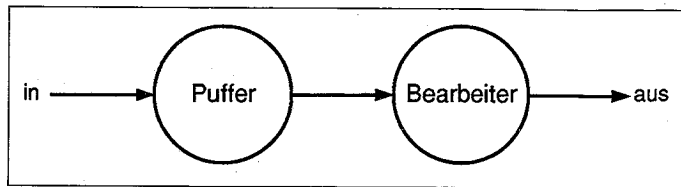
Die Fabrik enthält einen Zubringer und drei Arbeiter (Bild 2). Diese werden von den drei (Blatt-)Prozessoren Zubringer, Arbeiter A, Arbeiter B und Arbeiter C modelliert. Bei diesen Bearbeitern handelt es sich um „Artgenossen“.

Der Zubringer versucht, Material entgegenzunehmen. Dieses Material kann von den Lieferanten oder von einer der Arbeiter abstammen. Wenn das Material vom Lieferanten abstammt, wird das Material zu einem der drei Bearbeitern transportiert. Welcher Arbeiter angesteuert wird, hängt von dem Auftrag ab, der auf dem zu dem jeweiligen Material gehörigen Beleg steht. Nachdem das Material von allen Arbeitern bearbeitet worden ist, kann man es aus dem System entfernen. Es wird davon ausgegangen, daß der Transport zeitlos stattfindet.

Wenn der Material-Beleg keine Aufträge mehr enthält, dann sind alle Aufträge verarbeitet, und das Material kann das System verlassen. Solange noch Aufträge vorliegen, wird das Material versandt an „a“, „b“ oder „c“: der Name des Port stimmt überein mit dem Auftrag, der am Kopf des Belegs steht. Port a ist verbunden mit Arbeiter A.

Nach der Entgegennahme des Materials wird in ungefähr zwei Minuten das Material bearbeitet. Dieser Vorgang läßt sich mit einem „wait“-Auftrag beschreiben, wobei der gezogene Wert eine gleichmäßige Verteilung mit einem Minimum- und einem Maximum-Wert von ein bzw. drei Minuten ist. Danach wird dieser Auftrag vom Material-Beleg entfernt (Material-Entfern-Auf-

4: Modell einer Bearbeitungsstation



trag). Abschließend wird das Material wieder zum Zubringer gesandt.

Da jetzt die Struktur des Modells und alle Prozessor-Beschreibungen gegeben sind, kann man dieses Modell mit Hilfe des Prozeßkalkulators auf seine Leistung untersuchen. Nach einiger Zeit stellt sich heraus, daß das System eine „Deadlock“-Situation enthält. Es tritt eine Blockierung des Zubringers auf. Der Zubringer versucht z. B., ein Produkt an Arbeiter A zu versenden, während Arbeiter B seinerseits versucht, ein (teilweise) fertiggestelltes Produkt zum Zubringer zu versenden: das System läuft fest. Diese Blockierung läßt sich beheben, indem ein Puffer vor dem Zubringer angeordnet wird. Eine andere Lösung besteht darin, einen Puffer vor jedem Arbeiter anzuzordnen. Im folgenden Modell wählte man die letztere Lösung.

**Bearbeitungszentrum mit Puffern**

Das angepaßte Modell, in dem jeder Arbeiter, durch eine Bearbeitungsstation ersetzt ist, wird mit den Bildern 3 und 4 beschrieben. Jede Bearbeitungsstation enthält einen Puffer und einen Arbeiter. Die Beschreibung des Puffers ist [1] zu entnehmen. Die Notation der übrigen Prozessoren bleibt dieselbe wie bereits beschrieben. Mit Hilfe des Prozeßkalkulators läßt sich feststellen, daß die Blockierung behoben worden ist. Wie sich herausstellt, lassen sich alle 300 Minuten rd. 100 Produkte bearbeiten. Mit der Eignung von Puffern ist nun ein einfaches, aber funktionierendes Modell entstanden. (Außerdem bewirken die Puffer eine Glättung des gleichmäßig ver-

teilten Verhaltens der Arbeiter). Dieses Modell kann folglich den angelieferten Materialstrom verarbeiten.

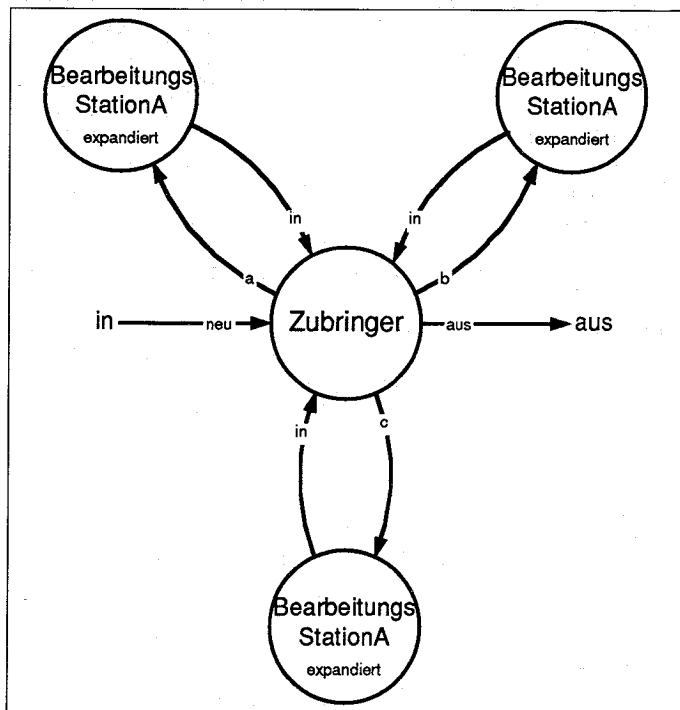
Im allgemeinen besteht Interesse an einer optimalen Auslastung der Bearbeitungsstationen. Dabei stellt sich jedoch das Dilemma, daß eine vollständige Auslastung der Bearbeitungsstationen eine Zunahme der Wartezeiten der teilweise bearbeiteten Produkte zur Folge hat, wodurch die Durchlaufzeit der Produkte steigt.

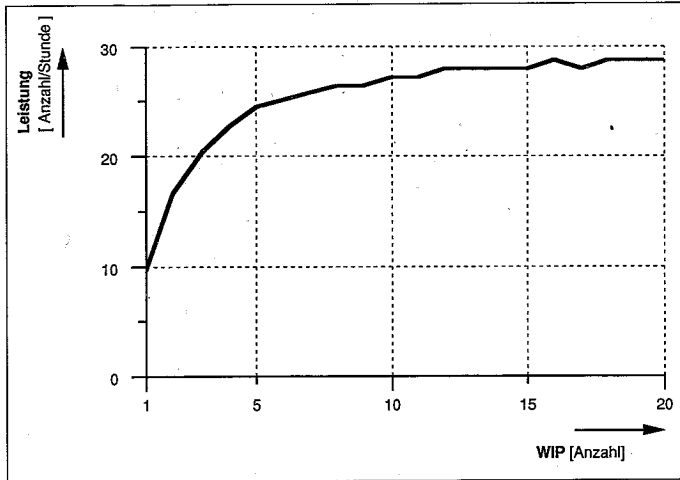
**Betriebscharakteristik eines Bearbeitungszentrums**

Zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen der Auslastung und der Durchlaufzeit, die in einem solchen System eine Rolle spielen, führt man eine Betriebscharakteristik ein. In einer Betriebscharakteristik werden der Auslastungsgrad und die Durchlaufzeit in Abhängigkeit von der Menge der unfertigen Erzeugnisse bestimmt. Wie sich dabei herausstellt, ist die Menge der unfertigen Erzeugnisse (engl. Work in process-wip) als Parameter zur Steuerung des Systems geeignet [3]. Hier wird die Menge der unfertigen Erzeugnisse als die Gesamtmenge an Produkten, die sich im System befinden, definiert.

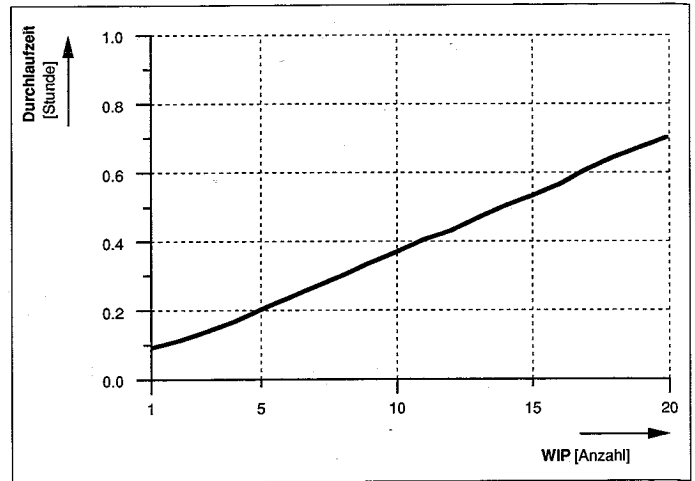
Vor der Bestimmung dieser Betriebscharakteristik des bereits beschriebenen Bearbeitungszentrums wird das Modell im Hinblick auf die „wip-Steuerung“ angepaßt. Neue Materialien werden durch den Port „neu“ des Zubringers (Bild 5) in das System eingeführt. Außerdem paßt man die Beschreibung des Lieferanten und des Zubringers an. Im neuen Modell ruft das

5: Modell der Fabrik unter Berücksichtigung der Einführung neuer Materialien





6: Abhängigkeit der Leistung vom wip-Wert



7: Abhängigkeit der Durchlaufzeit vom wip-Wert

System selbst Produkte ab. Die Strategie besteht dabei darin, daß die Zahl der im System befindlichen Produkte konstant bleibt: die Menge der unfertigen Erzeugnisse bleibt konstant. Nach einem bestimmten anfänglichen Anlauf ruft das System über den Zubringer jedes Mal, wenn ein fertiges Produkt das System verlassen hat, neues Material ab. Das System zieht die Materialien aus dem Lieferanten: („Pull“-System). Der Lieferant sendet das Material jetzt nur dann, wenn dafür Bedarf besteht.

Auch der Zubringer ist anzupassen. Anfänglich wird das System vom Zubringer mit einer vorprogrammierten Menge an unfertigen Erzeugnissen „beladen“. Danach fordert der Zubringer beim Lieferanten neues zu bearbeitendes Material an, nachdem ein fertiges Produkt abgeliefert worden ist. Anfänglich sorgt der Zubringer dafür, daß das Material in die verschiedenen Bearbeitungsstationen gebracht wird. Die Materialstückzahl gibt man mit Hilfe des wip-Parameters an. Wenn  $wip = 1$ , so enthält das Bearbeitungszentrum ein Material-Objekt.  $wip = 10$  bedeutet, daß zehn Material-Objekte anfänglich zu den (Puffern der) verschiedenen Bearbeitungsstationen transportiert werden. Wenn ein Material-Objekt alle Bearbeitungsstufen durchlaufen hat, wird dieses Objekt zum Abnehmer versandt, während man ein zu bearbeitendes Objekt über die Port „neu“ vom Lieferanten bezieht.

Erwartungsgemäß benötigt das System minimal durchschnittlich sechs Minuten (drei  $\times$  zwei Minuten) zur vollständigen Bearbeitung eines Produkts. Mit Hilfe der Simulation stellt sich heraus, daß es bei einem Wert „wip = 1“ ungefähr sechs Minuten dauert, bevor ein Objekt bearbeitet wird. Außerdem stellt sich heraus, daß in ca. 6000 Minuten 1000 Objekte von dem System bearbeitet werden. Dies stimmt gut mit den Erwartungen überein.

So stellt sich heraus, daß es bei „wip = 2“ ungefähr 7,4 Minuten dauert, bevor ein Objekt bearbeitet wird. Außerdem zeigt sich, daß man rd. 3700 Minuten benötigt, um 1000 Objekte zu bearbeiten.

Bei „wip = 3“ braucht man durchschnittlich neun Minuten zur Bearbeitung eines Produkts, während ca. 3000 Minuten zur Bearbeitung von 1000 Objekten erforderlich sind.

Bei  $wip = \infty$  werden 2000 Minuten zur Bearbeitung von 1000 Objekten erforderlich sein. Die Zeit, die ein Objekt im System verbringt (Durchlaufzeit), läßt sich nun in Abhängigkeit vom wip-Wert auftragen (Bild 6). Die Leistung des Systems, d. h. die Zahl der bearbeitenden Objekte pro Stunde, läßt sich ebenfalls in Abhängigkeit vom wip-Wert auftragen (Bild 7). Solche Abbildungen bilden die Betriebscharakteristik eines Systems.

Die Wahl eines bestimmten wip-Werts ist eine strategische Entscheidung: je größer der wip-Wert, desto mehr Objekte werden pro Stunde bearbeitet, desto größer wird jedoch auch die Durchlaufzeit. Mit der Vergrößerung der Zahl der Produktionsmittel läßt sich die Lage der Betriebscharakteristiken verbessern, aber gleichzeitig steigen auch die Investitionen in Produktionsmittel.

Dieses Modell illustriert das Prinzip der Verwendung des wip-Werts als Parameter zur Regelung der Durchlaufzeit und der Leistung. In der Praxis hat das beschriebene Modell eine sehr beschränkte Brauchbarkeit. Der Bedarf an neuen Produkten wird oft vom Markt bestimmt. Außerdem ist der Arbeitsinhalt der einzelnen Produkte meistens unterschiedlich, verschiedene Produkte haben verschiedene Bearbeitungszeiten. Auch die Bearbeitungen sind meistens unterschiedlich. Weiterhin sind die Umrüstzeiten und Transportzeiten zu berücksichtigen. Auch die Beschränkungen

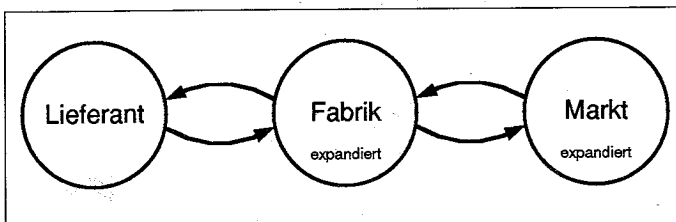
der Verfügbarkeit von Werkzeugen und Matrizen kann eine Rolle spielen. In solchen Fällen ist es notwendig, daß das System mit Hilfe von Informationsströmen gesteuert wird. Zusätzlich zum wip-Wert werden andere Informationen zur Steuerung eines solchen Systems benötigt:

- Welche Maschine bearbeitet gerade welches Produkt.
- Wann benötigt eine Maschine neues Material usw. Im folgenden Beispiel wird dieses Modell darum zu einem Modell mit expliziten Informationsströmen umgebaut.

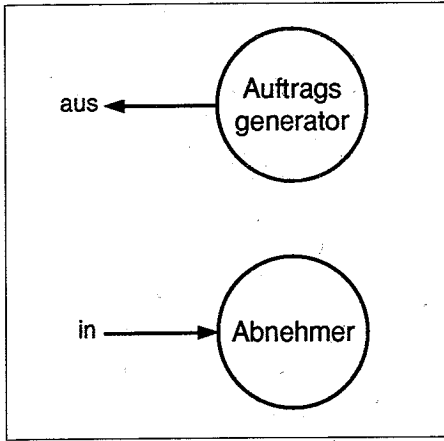
### Bearbeitungszentrum mit Informationsströmen

Bei diesem Modell geht man von der Annahme aus, daß der Markt das Bearbeitungszentrum ansteuert. Das bedeutet, daß vom Markt Aufträge generiert werden, die das System verarbeitet. Parallel dazu nimmt man an, daß das System seinen wip-Wert konstant hält. Das bedeutet, daß die Lieferzeit (mindestens die Durchlaufzeit des Systems) ungefähr eine Konstante ist. Die Lieferzeit läßt sich auf dem Wege einer Anpassung der unfertigen Erzeugnisse anpassen, was wiederum auf Kosten der Leistung des Systems geht. Das Bild 8 zeigt das Modell der Fabrik und ihrer Umgebung. Der Lieferant, die Fabrik und der Abnehmer sind durch den (Blatt-)Prozessor Lieferant und die expandierten Prozessoren Fabrik und Markt gekennzeichnet. Der Markt besteht aus einem Auftragsgenerator, der die verschiedenen Aufträge mit den dazugehörigen Spezifikationen generiert, und dem eigentlichen Abnehmer, der Produkte entgegennimmt (Bild 9).

Der Lieferant versendet auf Anforderung neues Material. In verschiedenen Bearbeitungsstufen wird das Material in der Fabrik bearbeitet. Das Bild 10 zeigt die Fabrik. Anfänglich sorgt der Verwalter dafür, daß das System mit  $n = wip$  mit neuen Materialien gefüllt wird. Er nimmt Aufträge entgegen, versendet diese Aufträge an den Zubringer und signalisiert dem Lieferanten, daß er neues Material liefern muß. Danach akzeptiert der Verwalter erst wieder einen Auftrag des Markts, wenn der Zubringer gemeldet hat, daß ein Produkt fertiggestellt wurde. Diesen Auftrag gibt er wieder



8: Modell von Fabrik und Umgebung



9: Marktmodell

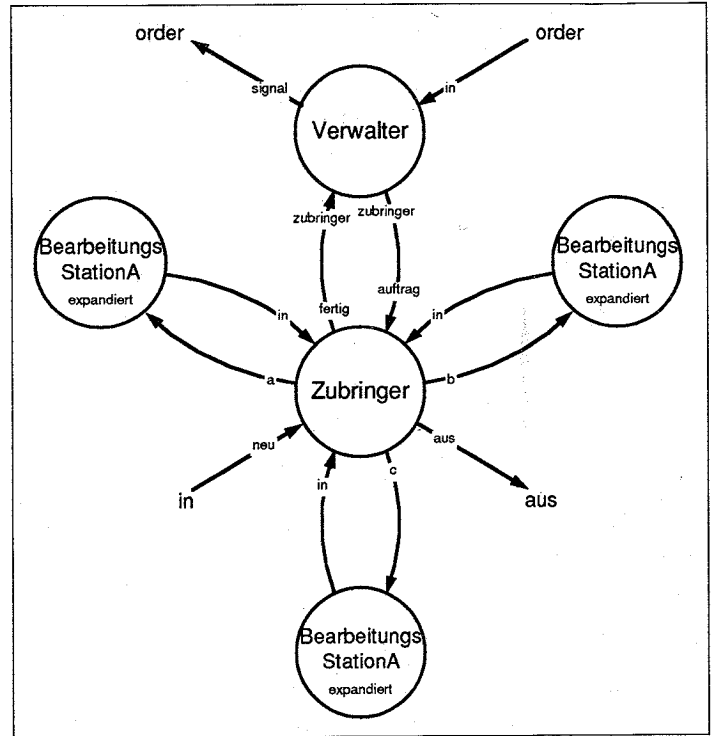
an den Zubringer weiter, während Material beim Lieferanten bestellt wird. Auf diese Weise versteht die Fabrik das Material anhand eines Auftrags mit einem Bearbeitungsbeleg.

Der Zubringer versucht, einen Auftrag vom Verwalter zu erhalten bzw. Material aus einer der drei Bearbeitungsstationen zu bekommen. Handelt es sich um einen Auftrag, so bedeutet dies, daß neues Material über die Port „neu“ entgegengenommen werden muß. Den Auftragsbeleg gibt man dem Material mit. Das Material mit-samt Auftragsbeleg wird zur jeweiligen Bearbeitungsstation versandt. Handelt es sich um Material, muß geprüft werden, ob das Material bearbeitet ist.

Mit diesem Modell erreicht man die selben Ergebnisse, wenn der wip-Parameter variiert. Der Vorteil dieses Modells besteht darin, daß die Material- und Informationsströme getrennt verlaufen. I. d. R. ist die einfache „wip-Steuerung“ in der hier präsentierten Form nicht robust genug zur tatsächlichen Steuerung eines Systems. Außerdem trifft man in einer tatsächlichen Fabrik oft eine Job-Produktion auf mehreren Ebenen an.

### Bearbeitungszentrum mit hierarchischen Steuerungen

Von Smit [4] wurde eine Architektur zur Modellierung von Fabriken auf mehreren hierarchischen Ebenen entwickelt. Darin



10: Fabrikmodell unter Berücksichtigung von Informationswissen

findet man auf jeder Ebene eine Steuerung. Mit dieser Architektur verfügt man über die Möglichkeit, eine Fabrik sowohl lokal als auch global zu steuern. Dabei besteht dann die Kunst in der Feststellung, was jeweils auf welcher Ebene gesteuert werden muß. Die Entscheidungen werden meistens aus der Sicht einer Betriebskultur getroffen. In der einen Kultur will der Manager die Handlungen der „Mannschaften“ bis in das Detail kontrollieren. In einer anderen Kultur skizziert der Manager eine wenig flexible Steuerung mit viel Kommunikation. Im zweiten Fall besteht die Möglichkeit, daß die gewählten Lösungen nicht für die ganze Fabrik optimal sind.

(Ende der Serie)

[3] Wiendahl, H.-P.: Belastungsorientierte Fertigungssteuerung. Carl Hanser Verlag, München, Wien 1987

[4] Smit, G. H.: The modelling of job-shop production facilities. Dissertation, 1992, Technische Universität Eindhoven.

Bildnachweis: Verfasser

#### Literaturnachweise

[1] Rooda J. E., Arentsen J.H.A.: Industrielle Systeme III. Modellieren von Fließfertigungsfabriken. Fördern und Heben 53 (1993) Nr. 4, S. 250 bis 252

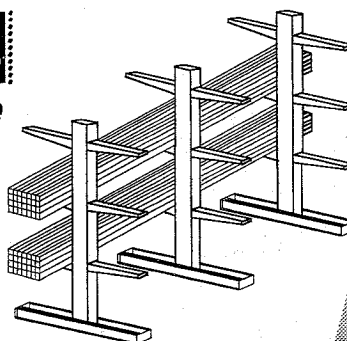
[2] Rooda J. E.: Industrielle Systeme – Teil I. Gliederung der industriellen Systeme. Fördern und Heben 43 (1993) Nr. 1/2, S. 63–66

**ELVEDI®**  
plant und baut Regale

Freitrageregale · Fachbodenregale  
Senkrechtregale · Palettenregale

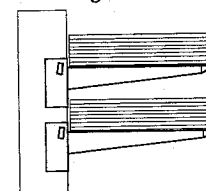
ELVEDI GmbH  
Aitlingerstrasse 18, D-7712 Blumberg 7  
Tel. 07702/3791, Fax 07702/1553

umweltbewusst - zeitgerecht



### Vorteil

Konische Kragarme für bequeme Einlagerung dank grösserer Fachhöhe



Wir stellen aus an der LIGNA, Freigelände Stand A 33