

Industrielle Systeme- Teil III

Citation for published version (APA):

Rooda, J. E., & Arentsen, J. H. A. (1993). Industrielle Systeme- Teil III. *Fördern und Heben*, 43(4), 250-252.

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

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Industrielle Systeme – Teil III

JACOBUS EELKMAN ROODA, JHA ARENTSEN

Im vorliegenden Teil III wird der Prozeßkalkül (Prozeßrechnung) zum Modellieren von Fabriken mit konvergierender Fließproduktion, wie Montagestraßen eingesetzt. Im ersten Modell geht man davon aus, daß die Lieferfirma alle Halbfabrikate liefert und der Abnehmer alle Produkte abnehmen kann. Das zweite Modell beschreibt Montagestraßen, die mit Puffern ausgestattet sind. Das dritte Modell geht von der Annahme aus, daß der Markt Produkte nachfragt. Weiterhin wird das „total factory model“ und ein Praxisbeispiel einer modellierten Montagestraße vorgestellt.

In der modernen Systemlehre unterscheidet man drei Systemaspekte, die das Verhalten eines Systems, z. B. einer Fabrik, beschreiben:

- Das primäre System wird meistens mit den Materialströmen assoziiert. Es hat die Aufgabe, die Produkte hervorzubringen.
- Das sekundäre bringt man meistens mit den Informationsströmen in Zusammenhang. Hier steht die Steuerung der Fertigung der Produkte im Vordergrund.
- Das tertiäre System umfaßt meistens die Energieströme und hat die Aufgabe das gesamte System instandzuhalten. In diesem Kontext wird es mit Wert- oder Geldströmen in Zusammenhang gebracht.

In der Literatur [1] werden verschiedene Begriffe zur Einteilung von Produktionssystemen verwendet.

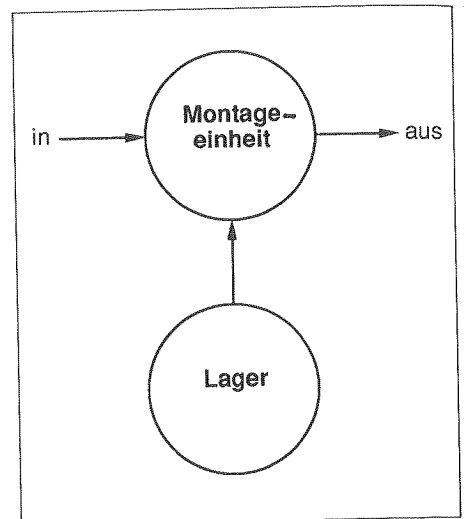
Eine einfache, aber zweckmäßige Einstellung ist die Unterteilung in Flow-Produktion und Job-Produktion (anstelle von Flow-Produktion und Job-Produktion spricht man manchmal auch von produktionsorientierter bzw. prozeßorientierter Produktion). In der Automobilindustrie findet man meistens die Flow-Produktion, während eine Maschinenfabrik ein Beispiel für eine Fabrik mit Job-Produktion ist.

Da es einfacher ist, Modelle von Fabriken mit Flow-Produktion als mit Job-Produktion aufzustellen, werden zur Einführung in diesen Artikel mit Hilfe des Prozeßkalküls [2] eine Reihe einfacher Modelle dieses Fabriktyps vorgestellt. Dabei wird eine konvergente Fertigungslinie betrachtet: Ein Produkt wird aus einer Reihe von Bauelementen zusammengestellt. Eine weitere Einschränkung besteht darin, daß nur ein einziges Produkt zusammengebaut wird. Der Teil IV behandelt eine Reihe von Modellen einer Fabrik mit Job-Produktion.

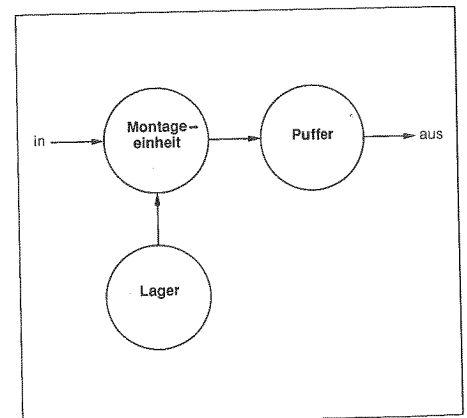
Montagestraße

Eine Fabrik „baut“ Erzeugnisse zusammen. Im vorliegenden Beispiel nimmt man an, daß die Lieferfirma in der Lage ist, die Ausgangs-Bauelemente zu liefern und der Abnehmer alle montierten Erzeugnisse abnimmt. Ferner ist vorausgesetzt, daß zu jeder Zeit Bauelemente in ausreichender Zahl für die Montage vorhanden sind. Die Kapazität der Montagestraße wird von den Montageeinheiten bestimmt. Die Montagestraße selbst besteht aus drei in Serie geschalteten Montageeinheiten. Diese arbeiten zeitgleich. Die Montage geschieht manuell. Die Montagezeit ist gleichförmig aufgeteilt und liegt für alle Arbeitsplätze zwischen 1 und 3 min. Die Straße erzeugt nur ein Produkt; eine Umstellung geschieht nicht.

Mit dem Prozeßkalkül wird ein Modell dieser Montagestraße aufgeteilt. Das Bild 1 zeigt das Modell der Fabrik und seiner Umgebung. Der Lieferant, die Fabrik und der Abnehmer sind durch den (Blatt-)Pro-



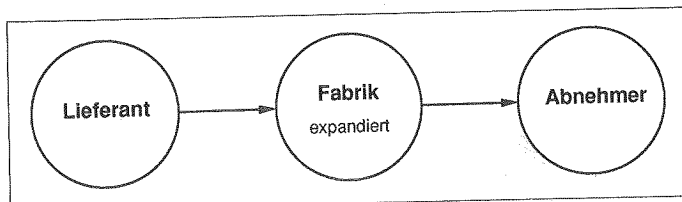
3: Modell der Montagestation



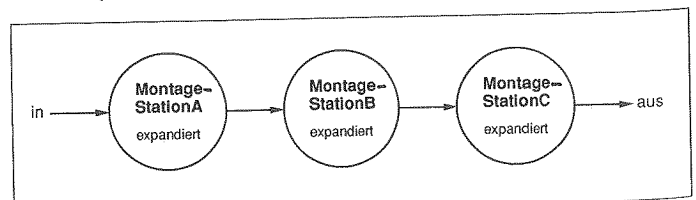
4: Modell der Montagestation mit Puffer

Intervall (Stunden)	Puffer A			Puffer B		
	min.	max.	Ø	min.	max.	Ø
0-40	0	14	3,7	0	20	5,1
40-80	0	12	4,4	10	28	19,0
80-120	0	20	11,7	19	37	26,6
120-160	5	32	19,8	11	34	24,1
160-200	6	37	24,6	0	22	6,6
200-240	18	37	27,5	0	12	5,0
240-280	20	43	32,4	0	15	6,9
280-320	6	41	21,2	0	15	6,0
320-360	10	42	30,7	0	15	5,1

Tabelle: Statistische Ergebnisse von Puffer A und B



1: Modell der Fabrik



2: Modell der Montagestraße

zessor „Lieferant“, den (expandierten) Prozessor „Fabrik“ und den (Blatt-)Prozessor „Abnehmer“ wiedergegeben [2]. Das Modell der Montage zeigt *Bild 2*. Es umfaßt drei Montagestationen. Jede Station übernimmt einen Montageschritt. Eine Montagestation wird durch den expandierten Prozessor „Montagestation“ wiedergegeben. Eine Montagestation (*Bild 3*), besteht aus dem (Blatt-)Prozessor „Lager“ und dem (Blatt-)Prozessor „Montageeinheit“. Das Lager bewirkt die Zulieferung eines Bauelements. In der Montageeinheit geschieht die Montage.

Da bei diesem Modell noch nicht zwischen den einzelnen Bauelementen unterschieden wird, beschränkt man sich auf eine Beschreibung der Bauelemente.

Mit der Beschreibung der Prozessoren „Lieferant“, „Abnehmer“, „Lager“ und „Montageeinheit“ ist die Montagestraße mit ihrer Umgebung vollständig beschrieben. Man kann nun das Verhalten dieses Modells untersuchen. In der Simulation ergibt sich, daß diese Montagestraße in 12 Stunden 290 Produkte (ca. 24 pro Stunde) liefern kann. Außerdem zeigt sich, daß Montageeinheit B ungefähr 9% der Zeit auf ein teilweise zusammengebautes Produkt warten mußte. Ca. 9% der Zeit entfallen darauf, daß sie das Produkt nicht versenden konnte. Die Leistung der Montageeinheit läßt sich verbessern, wenn man die Differenzen zwischen den Montagezeiten durch die Einschaltung von Puffern ausgleicht.

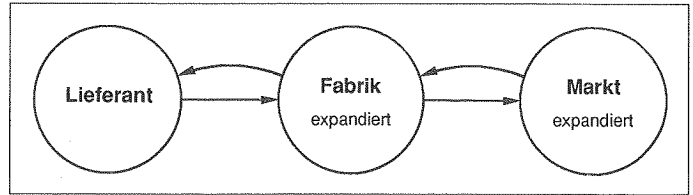
Gepufferte Montagestraße

Das Modell von *Bild 3* wird nun um Puffer erweitert (*Bild 4*). Es ist zu erwarten, daß diese Puffer eine bessere Abstimmung der einzelnen Montageprozesse aufeinander bewirken. Streng genommen wäre ein Puffer in Montagestation C überflüssig.

Der Begriff „geordnete Sammlung“ wird dabei für die Formalisierung des Modells des Puffers gebraucht. Eine geordnete Sammlung ist ein Objekt, in dem sich andere Objekte aufbewahren lassen. Eine geordnete Sammlung kann gefragt werden, ob sie Objekte enthält. Objekte lassen sich zur geordneten Sammlung hinzufügen oder entfernen. Für das Modellieren industrieller Systeme verwendet man häufig geordnete Sammlungen. Eine geordnete Sammlung ist vergleichbar mit einer Liste: Unten wird hinzugefügt, und oben wird weggestrichen. Anfänglich wird der Liste durch einen Auftrag eine Bedeutung zugewiesen. Zunächst untersucht man, ob die Liste im Puffer noch leer ist. Ist dies der Fall, dann wartet man solange, bis über den Empfangsport „in“ ein Objekt eingelesen werden kann. Dann wird dieses Objekt in der Liste aufgenommen. Danach läßt sich ein neues Objekt aufnehmen oder aus der Liste versenden.

Mit dem Prozeßkalkül läßt sich zeigen, daß die Montagestraße nach einiger Zeit in der Lage ist, ca. 30 Produkte pro Stunde auszuliefern. Die Einschaltung von Puffern hat die Kapazität der Straße tatsächlich erhöht. Nach einem Versand, bei dem die Montagestraße 40 Stunden lang gearbeitet

5: Modell der Fabrik bei auftragsbezogener Fertigung

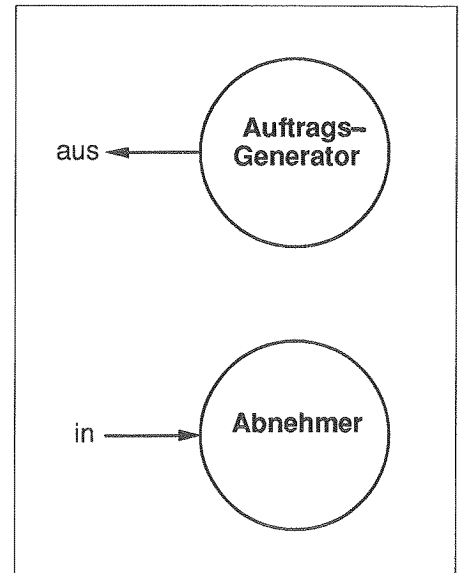
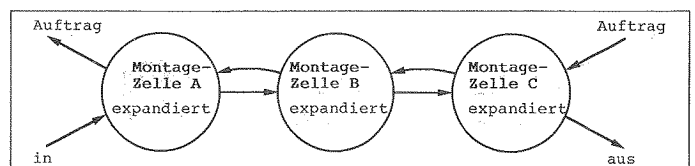


hat und bei dem ca. 1200 Produkte montiert wurden, ergibt sich, daß in dem Puffer, der zur Montagestation A gehört, mindestens 0, höchstens 14 und durchschnittlich 3,7 (teilweise zusammengebaute) Produkte vorhanden sind. Der Puffer in Montagestation B ist mit 0 bzw. 20 und im Durchschnitt 5,1 belegt. So scheint auf den ersten Blick ein Puffer mit fünf Positionen ausreichend zu sein. Bei Fortsetzung des Versuchs ergibt sich jedoch ein völlig anderes Bild (*Tabelle*).

Insgesamt montierte man in 360 Stunden 10748 Produkte (anstatt 10797). Diese Resultate lassen sich folgendermaßen erklären: Bei Anwendung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen besteht die Möglichkeit, daß die durchschnittliche Montagezeit von Montageeinheit A geringfügig von der durchschnittlichen Montagezeit von Montageeinheit B abweicht. Wenn Montageeinheit B 1% langsamer arbeitet als Montageeinheit A, hat das zu Folge, daß Puffer A in 40 Stunden 12 (teil-)montierte Produkte mehr enthält. Im Intervall 40–80 hat Montageeinheit C zu langsam gearbeitet. Im Intervall 160–200 hat Montageeinheit B zu langsam gearbeitet. Die Änderungen der benötigten Pufferkapazität lassen sich vermeiden, wenn man den Puffern eine begrenzte Kapazität gibt oder Montageeinheit A etwas langsamer arbeiten läßt als Montageeinheit B (z. B. 0,5%) und Montageeinheit B etwas langsamer als Montageeinheit C (z. B. 0,5%). In beiden Fällen hat dies eine geringere Leistung zur Folge.

Bisher wurden Modelle von Montagestraßen aufgestellt, bei denen man davon ausging, daß die montierten Produkte stets abgenommen werden. Mit anderen Worten: die Fabrik „drückt“ die Produkte zum Abnehmer. Häufig ist die Situation aber anders: Der Abnehmer „zieht“ die Produkte aus der Fabrik. In diesem Falle werden nur dann Produkte montiert, wenn der Abnehmer diese anfordert. Eine „Zieh“-Fabrik läßt sich modellieren, indem man im beschriebenen Modell den Puffern eine begrenzte Kapazität gibt. Die Puffer laufen voll, und die Montage stoppt, wenn der Markt nichts abnimmt. Diese Lösung, die oben bereits skizziert wurde und dazu dient, das fluktuierende Verhalten in den Puffern auszugleichen, hat den Nachteil, daß sich in der Fabrik die (teilweise zusammengebaute) Produkte stapeln. Eine bessere Lösung besteht darin, die Produktion mit Hilfe eines Informationsstromes zu steuern.

7: Modell der Montagestraße bei auftragsbezogener Fertigung



6: Marktmodell

Steuerung nach Aufträgen

Die einfachste, durch Informationsströme gesteuerte Fabrik ist eine Fabrik, in der auftragsbezogen produziert wird. Bei einem solchen System sendet der Abnehmer Aufträge an die Fabrik, was Informationsströme auslöst. Es ist dabei allerdings notwendig, daß der Auftrag fertiggestellt wird, ehe die Lieferfrist für diesen Auftrag verstrichen ist. Mit Hilfe des Prozeßkalküls wird ein Modell dieser Fabrik aufgestellt. Das *Bild 5* zeigt das Modell der Fabrik und ihrer Umgebung. Der Lieferant, die Fabrik und der Abnehmer sind wiedergegeben, durch den (Blatt-) Prozessor „Lieferant“ und die expandierten Prozessoren „Fabrik“ und „Markt“.

Der Markt besteht aus einem Auftragsgenerator, der die einzelnen Aufträge generiert, und dem eigentlichen Abnehmer, der die Produkte empfängt. Diese werden in *Bild 6* durch die (Blatt-)Prozessoren „Auftragsgenerator“ und „Abnehmer“ modelliert. In diesem Fall nimmt man an, daß stündlich 20 Produkte geliefert werden. Der Auftragsgenerator muß Aufträge für diese Anzahl versenden. Die entsprechende Fabrik zeigt *Bild 7*. Die Montagezellen sind über Materie- und Informationsströme miteinander gekoppelt. Die Montagezelle besteht aus einem Stuevelement und einer Montagestation (*Bild 8*). Die Arbeitsweise in der Montagezelle ist folgendermaßen: Die Steuerung erhält einen Auftrag, ein Produkt zu liefern. Die Steuerung er-

teilt der vorangehenden Montagezelle oder dem Lieferanten einen Auftrag zur Lieferung von Bauelementen. Außerdem erteilt die Steuerung der Montagestation den Auftrag, die Bauelemente zu montieren. Dies bedeutet, daß der Auftrag sowohl zum vorangegangenen Prozeßschritt weitergegeben als auch zur Montagestation gesandt wird. Außerdem darf das Steuerelement bei seinem Vorgehen nicht blockiert werden. Dadurch würden der Eingang die Weiterleitung neuer Aufträge gestört.

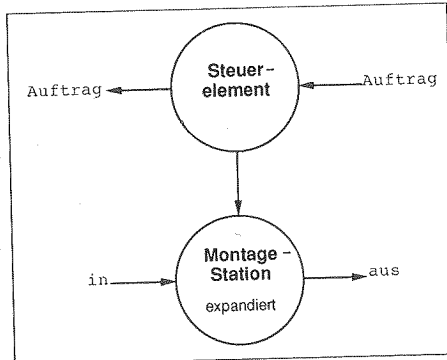
Die Montagestation in diesem Beispiel besteht aus der Montageeinheit, einem Lager und einem Puffer (Bild 9). Diese Montageeinheit unterscheidet sich von den vorangegangenen insofern, als sie mit der Arbeit beginnt, wenn sie einen Auftrag von der Steuerung erhalten hat.

Da alle Bauelemente einwandfrei montiert werden, geht man von einer Steuerung mit offenem Wirkungskreis aus. In der Praxis werden häufig Steuerungen mit geschlossenem Wirkungskreis verwendet. In diesem Fall folgt eine Rückmeldung des Ergebnisses der Bearbeitung an die Steuerung. Das Steuerelement kann dann die entsprechenden Aufträge generieren. Das Steuerelement und die Montagestation sind als zwei getrennte Prozessoren modelliert: Während der Montagezeit der Montagestation können die Aufträge vom Steuerelement weitergegeben werden.

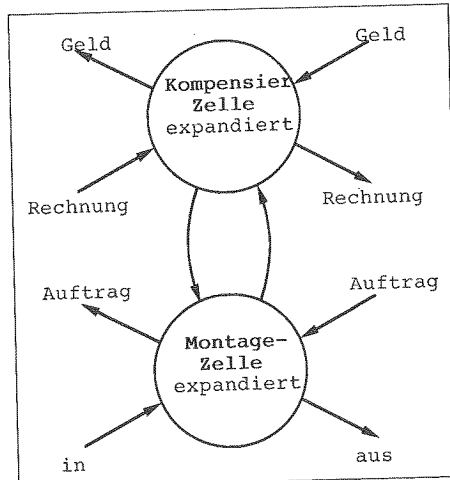
Mit dem Prozeßkalkulator läßt sich feststellen, daß stündlich tatsächlich 20 Produkte montiert werden. Da dieses System nicht voll ausgelastet wird, bleiben die Pufferinhalte begrenzt. Eventuell läßt sich dieses Modell auch ohne Puffer realisieren. In dem immer noch einfachen Modell ging man davon aus, daß sich alle Produkte auf Vorrat montieren lassen. In der Praxis ist dies häufig nicht realisierbar. In solchen Situationen werden meistens einige teilmontierte Produkte auf Vorrat produziert und erst dann vollständig montiert, wenn ein Auftrag eingegangen ist. Es entsteht ein Entkopplungspunkt. Der Entkopplungspunkt ist dann der Puffer, der sich zwischen dem auf Vorrat arbeitenden Teil und dem nach Auftrag arbeitenden Teil der Montagestraße befindet.

Material-, Informations- und Geldströme

Damit eine Fabrik den Betrieb aufrecht halten kann, müssen die hergestellten Produkte abgerechnet werden. Wie in dem letzten Modell bereits gezeigt wurde, verlaufen der Auftragseingang und die Auftragsverarbeitung nicht synchron mit der eigentlichen Produktion. Aus diesem



8: Modell der Montagezelle



9: Fabrikmodell mit Material-Information und Geldströmen

Grund werden die Montageprozesse sowie die Steuerungsprozesse mit getrennten Prozessoren wiedergegeben. In gleicher Weise braucht die Fakturierung nicht mit dem Zahlungseingang zusammenfallen.

Mit dem Prozeßkalkül lassen sich nun Modelle von Fabriken aufstellen, die sowohl die Materieströme mit den dazugehörigen (Auftrags-)Informationsströmen als auch die Wertströme mit den dazugehörigen (Rechnungs-)Informationsströmen erfassen (Bild 9).

Dieses „total factory model“ bietet eine Architektur für die Beschreibung der Fertigung selbst und der dazugehörigen Steuerungen. Man kann hierbei an Steuerungen nach Auftrag, nach Vorrat oder nach Mischformen denken, wie z. B. Kanban-Steuerungen [3], [4], MRP-Steuerungen (5), [6], PostAnte- und AntePost-Steuerungen [7].

Fazit

Die einzelnen entwickelten Modelle zeigen, wie Montagestraßen entworfen werden. Die Übergänge zwischen den gezeigten Mo-

dellen lassen erkennen, wie die Entwicklung der Montage sich im Verlauf der Zeit vollzogen hat. Noch relativ neu ist die Erkenntnis, daß die verschiedenen Finanzsysteme, die man in der Produktion anwendet, für die Steuerung von Fabriken nicht geeignet sind.

Mit dem Prozeßkalkül kann man ein Modell einer neu zu bauenden oder vorhandenen Fabrik aufstellen. Mit dem im Werkzeug vorhandenen Prozeßkalkulator läßt sich dann das Verhalten der verschiedenen zusammenarbeitenden Prozessoren (dynamisch) feststellen. Anhand des zu liefernden Produktpakets und der dazugehörigen Lieferzeiten lassen sich folgende Aussagen machen:

- Welches Fertigungssystem ist anzuwenden.
- Welches Steuerungssystem sollte eingesetzt werden.
- Welche Wirkung hat eine bestimmte Auftragsverarbeitungsstrategie.
- Welchen Einfluß haben Seriengrößen, Saisonen, die Empfindlichkeit für Umstellzeiten, die zu erwartenden Durchlaufzeiten und das Volumen der in Bearbeitung befindlichen Produkte.

Die gezeigte Arbeitsweise unterscheidet sich von der Arbeitsweise, die noch häufig in der Industrie angewendet wird. In der Industrie entwirft man statisch eine Fabrik auf empirischer Basis und versucht dann über die „Lernkurve“ oder mit der „Trial-and-error-Methode“, diese Fabrik zu optimieren. Der Vorteil der hier gezeigten Arbeitsweise besteht darin, daß man schneller einen besseren Einblick in den Fertigungsprozeß und die dazugehörige Steuerung erhält. (Wird fortgesetzt)

Bildnachweis: Verfasser

Literaturhinweise:

- [1] Buffa, E. S., Sarin, R. K.: Modern Production/Operations Management. John Wiley & Sons, London 1987
- [2] Rooda, J. E.: Industrielle Systeme II – Definition und Begriffe. Fördern und Heben 43 (1993) Nr. 3, S. 128–131
- [3] Kimura, O., Terada, H.: Design and analysis of pull system, a method of multi-stage production control. Int. J. of Prod. Research, 1988, 19 (3), S. 241–253
- [4] Shingo, S.: Study of Toyota production systems. Japan Management Association, Tokio 1981
- [5] Orlicky, J.: Material Requirements Planning. McGraw Hill Inc., New York, 1975
- [6] Browne, J., Harhen, J., Shivan, J.: Production management systems. Addison-Wesley Publ. Comp., Worthingham 1988
- [7] Arentsen, J. H. A.: Factory Control Architecture, 1989 Dissertation, Technische Universität Eindhoven



LKW-Kran? Fragen Sie die Experten!

Das komplette Programm von 1m/to bis 25 m/to. Enorme Tragkraft bei großer Reichweite. **NEU** Serie 500 — noch mehr Tragkraft, weniger Gewicht!

WEHA ist der deutsche Partner von FERRARI, einem der führenden Hersteller mit ausgereiftem Know-how. Zuverlässige, grundsätzliche, sichere Technik zum vernünftigen Preis. Wichtig: Erfahrener, flexibler Service!



WEHA Postfach 1355
8901 Königsbrunn/Augsburg
Tel. 08231-6007-0 Fax 600749