

Fertigungssteuerung mit der Dezentralen Bestandsorientierten Fertigungsregelung

Hermann Lödding

Die Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung (DBF) ist ein Verfahren zur Fertigungssteuerung und regelt den Durchlauf von Aufträgen durch eine Fertigung. Das Verfahren hilft Unternehmen, die Fertigungsbestände zu senken und ihre Kunden schneller und zuverlässiger zu beliefern. Ähnlich wie die japanische Kanban-Steuerung setzt die Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung auf eine Selbstregelung der Fertigung. Sie bindet die Mitarbeiter der Fertigung damit wesentlich stärker in die Verantwortung für die Erreichung der logistischen Ziele ein, als dies bei einer zentralen Fertigungssteuerung möglich wäre. Im Unterschied zur Kanban-Steuerung eignet sich das Verfahren jedoch auch für eine variantenreiche Produktion oder für eine Auftragsfertigung. Dies sind Fertigungsumgebungen, in denen es Unternehmen erfahrungsgemäß besonders schwer fällt, schnell und pünktlich zu liefern.

1 Einleitung

Die japanische Kanban-Steuerung und vor allem das zugrundeliegende Konzept einer schlanken Produktion ist unbestritten eine Pionierleistung der Produktionslogistik und dient noch heute weltweit vielen Unternehmen als Vorbild. Gleichwohl lässt sich das Konzept nicht unverändert auf Fertigungsumgebungen übertragen, die durch eine hohe Variantenvielfalt, durch eine Auftragsfertigung oder auch durch hohe Nachfrageschwankungen gekennzeichnet sind (vgl. dazu etwa [1,2]). So hält die Kanban-Steuerung auf jeder Wertschöpfungsstufe für jede Variante einen Bestand vor. Es ist leicht einsehbar, dass dies bei einer sehr hohen Variantenvielfalt zwangsläufig zu einem sehr hohen Bestand in der Fertigung führt. Es ist daher ein Bestreben, Fertigungssteuerungsverfahren zu entwickeln, die die positiven Eigenschaften der Kanban-Steuerung besitzen, aber auch in einer variantenreichen oder sogar in einer kundenindividuellen Fertigung eingesetzt werden können. Dies war eine wichtige Motivation für die Entwicklung der Dezentralen Bestandsorientierten Fertigungsregelung am Institut für Fabrikanlagen und Logistik der Universität Hannover. Die folgenden Abschnitte des Beitrags beschreiben die Verfahrensregeln der DBF (Abschnitt 2), die Festlegung ihrer Verfahrensparameter (Abschnitt 3)

und die simulative Evaluation des Verfahrens (Abschnitt 4). Der Beitrag schließt mit einem kurzen Überblick über Verfahrenserweiterungen (Abschnitt 5).

2 Verfahrensregeln der DBF

Die Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung ist ein dezentrales Verfahren zur Auftragsfreigabe und Steuerung der Aufträge durch die Produktion. Es setzt voraus, dass ein zentrales PPS-System aus den Kundenaufträgen eine Liste mit dringenden Fertigungsaufträgen erzeugt (Bild 1).

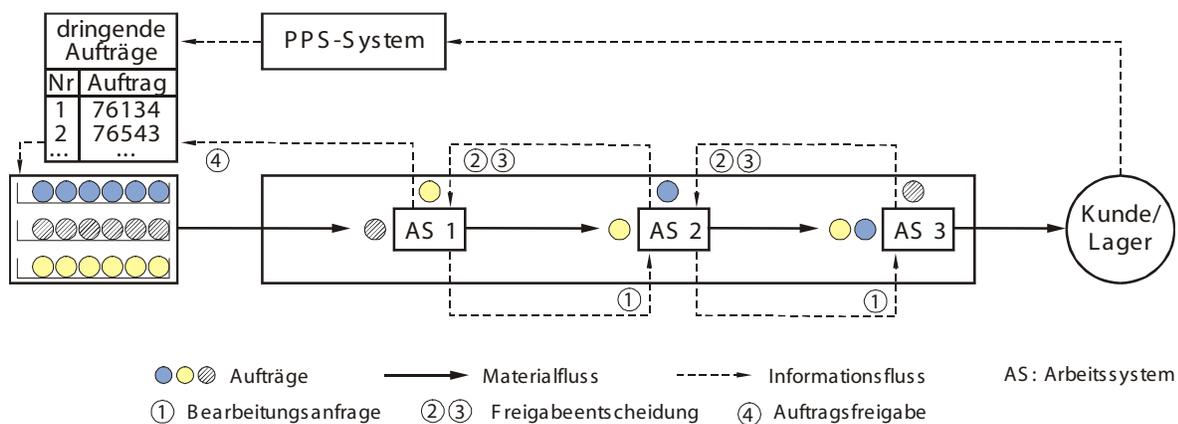


Bild 1: Prinzip der Dezentralen Bestandsorientierten Fertigungsregelung

Die Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung basiert auf den folgenden sechs Verfahrensregeln:

1. *Bevor ein Mitarbeiter einen Auftrag zu bearbeiten beginnt, fragt er beim nachfolgenden Arbeitssystem des betreffenden Auftrags um die Bearbeitungsfreigabe nach (Informationsfluss 1 in Bild 1). Der letzte Arbeitsvorgang eines Auftrags kann immer bearbeitet werden.*

Das nachfolgende Arbeitssystem erfährt durch diese Regel von einer möglichen Belastung durch einen Auftrag.

2. *Der Mitarbeiter am nachfolgenden Arbeitssystem trifft die Entscheidung über die Bearbeitungsfreigabe auf Grundlage einer Bestandsgrenze. Übertrifft der Bestand am Arbeitssystem (Direktbestand) und der Bestand, der an Vorgängerarbeitssystemen bearbeitet wird (Indirektbestand), die Bestandsgrenze des Arbeitssystems, verweigert er die*

Bearbeitungsfreigabe (Informationsfluss 2). Ansonsten gibt er den Auftrag zur Bearbeitung frei (Informationsfluss 3) und addiert dessen Auftragszeit zum Gesamtbestand hinzu.

Diese Regel ermöglicht es einem Arbeitssystem, den Zufluss an Arbeit zu regeln. Bearbeitungsfreigaben sichern die Versorgung mit Aufträgen. Verweigert ein Arbeitssystem die Bearbeitungsfreigabe, verhindert es, dass mehr Aufträge zufließen, als es kurzfristig bearbeiten kann. Es vermeidet damit einen Bestandsaufbau.

- 3. Erhält ein Arbeitssystem für einen Auftrag die Bearbeitungsfreigabe, beginnt es mit dessen Bearbeitung. Andernfalls fragt es für die weiteren Aufträge im Bestand um die Bearbeitungsfreigabe nach, falls diese ein anderes Nachfolgerarbeitssystem durchlaufen.*

Das Bemühen, die Bearbeitungsfreigabe für andere Aufträge im Bestand zu erhalten, zielt darauf ab, die Auslastung des Arbeitssystems zu sichern. Gelingt dies nicht, wird das Arbeitssystem blockiert. Es ist dann meist kein Engpass, weil es ansonsten keinen Bestandsaufbau an nachfolgenden Arbeitssystemen bewirken könnte. Die Leistung der gesamten Fertigung wird daher durch die Blockade nicht reduziert

- 4. Nach der Bearbeitung eines Auftrags streicht ihn der Mitarbeiter aus dem Gesamtbestand des Arbeitssystems. Unterschreitet der Gesamtbestand dadurch die Bestandsgrenze, erteilt der Mitarbeiter die Bearbeitungsfreigabe für Aufträge, denen sie vorher verweigert wurde, bis die Bestandsgrenze wieder überschritten wird (Informationsfluss 3).*

Dies sichert die zukünftige Versorgung des Arbeitssystems mit Aufträgen. Es gewährleistet zudem, dass ein zuvor blockiertes Arbeitssystem davon erfährt, dass die Blockade aufgehoben wird.

- 5. Jedem Arbeitssystem ist eine Positionsnummer zugeordnet, die die relative Position eines Arbeitssystems im Materialfluss kennzeichnet. Unabhängig vom Überschreiten der Bestandsgrenze erteilt ein Arbeitssystem die Bearbeitungsfreigabe für Aufträge, wenn das nachfragende Arbeitssystem eine höhere Positionsnummer hat, also ein Rückfluss vorliegt.*

Diese Regel verhindert eine wechselseitige Blockade von Arbeitssystemen. Sie setzt dazu die angestrebte Bestandsregelung teilweise außer Kraft. Die Positionsnummern der Arbeitssysteme sollten daher so vergeben werden, dass möglichst wenige Materialflüsse zu Arbeitssystemen mit niedriger Positionsnummer entstehen. Die Regel und die Vergabe der Positionsnummern werden ausführlich in [2] erläutert.

6. Die Produktionsplanung generiert eine Liste dringender Aufträge. Diese Aufträge werden freigegeben, wenn der Bestand am Beginnarbeitssystem die Bestandsgrenze unterschreitet. Sie werden mit der Freigabe zum Bestand des Beginnarbeitssystems hinzugerechnet. Bei einer sehr leistungsfähigen Materialbereitstellung können die Aufträge auch erst dann freigegeben werden, wenn das nachfolgende Arbeitssystem die Bearbeitungsfreigabe für einen Auftrag erteilt, vgl. dazu [2].

Diese Regel definiert die Schnittstelle der Dezentralen Bestandsorientierten Fertigungsregelung zur Produktionsplanung der Fertigung. Das Verfahren setzt voraus, dass die Fertigungsaufträge von einer (zentralen) Produktionsplanung generiert werden. Dabei können durchaus unterschiedliche Verfahren zur Erzeugung der Aufträge angewendet werden (In einer Mischfertigung etwa MRP II für die kundenindividuellen Aufträge und das Bestellbestandsverfahren für Lageraufträge). Der Grad der logistischen Zielerreichung hängt daher auch von der Güte der Produktionsplanung ab.

3 Festlegung der Verfahrensparameter

Der wichtigste Verfahrensparameter der DBF sind die Bestandsgrenzen der Arbeitssysteme. Sie bestimmen den mittleren Bestand der Arbeitssysteme und damit auch ihre mittleren Durchlaufzeiten und bestandsbedingten Auslastungen. Zweiter Verfahrensparameter sind die Positionsnummern der Arbeitssysteme. Sie verhindern bei komplexen Materialflüssen wechselseitige Blockaden der Arbeitssysteme. Ihre Festlegung wird ausführlich in [3] beschrieben. Die folgenden Ausführungen beschreiben, wie die Bestandsgrenze auf Grundlage des Hannoveraner Trichtermodells festgelegt werden kann. Das Vorgehen umfasst zwei Schritte: die logistische Positionierung der Arbeitssysteme und die Abschätzung des Indirektbestands, der an Vorgängerarbeitssystemen bearbeitet wird. Die Bestandsgrenze eines Arbeitssystems ergibt sich dann als Summe vom in der logistischen Positionierung bestimmten Zielbestand und dem Indirektbestand.

Logistische Positionierung

Die logistische Positionierung legt den Zielbestand fest, der an einem Arbeitssystem erreicht werden soll. Aufgrund des Zielkonflikts zwischen den logistischen Zielen niedrige Bestände und Durchlaufzeiten einerseits und hohe Auslastung andererseits lässt sich nicht für alle Zielgrößen ein Optimalwert erreichen. Die logistische Positionierung muss daher einen angemessenen

Kompromiss zwischen diesen Zielen finden. Dazu ist zum einen die strategische logistische Zielsetzung des Unternehmens zu berücksichtigen. Zum anderen ist es erforderlich, den Zielkonflikt quantitativ zu beschreiben. Diese Aufgaben erfüllen Produktionskennlinien. Sie beschreiben den Verlauf von Leistung (bzw. Auslastung) und Durchlaufzeit eines Arbeitssystems in Abhängigkeit vom mittleren Bestand (Bild 2). Produktionskennlinien können sehr einfach aus den Auftragszeiten eines Arbeitssystems und grundlegenden Informationen über dessen Kapazität berechnet werden. Die Berechnungsgleichungen sind ausführlich in [4] beschrieben.

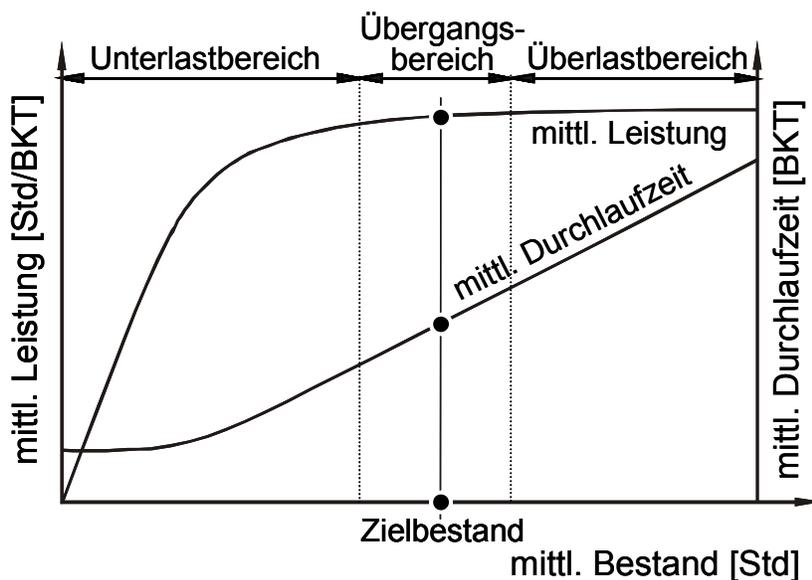


Bild 2: Produktionskennlinien eines Arbeitssystems (nach Nyhuis)

Berechnung des Indirektbestands

Der Indirektbestand bezeichnet den Bestand, der an einem Vorgängerarbeitssystem bereits in Bearbeitung ist und daher kurzfristig dem Arbeitssystem zugehen wird. Eine Berechnungsgleichung für den Indirektbestand kann aus einem erweiterten Durchlaufdiagramm eines Arbeitssystems abgeleitet werden (Bild 3).

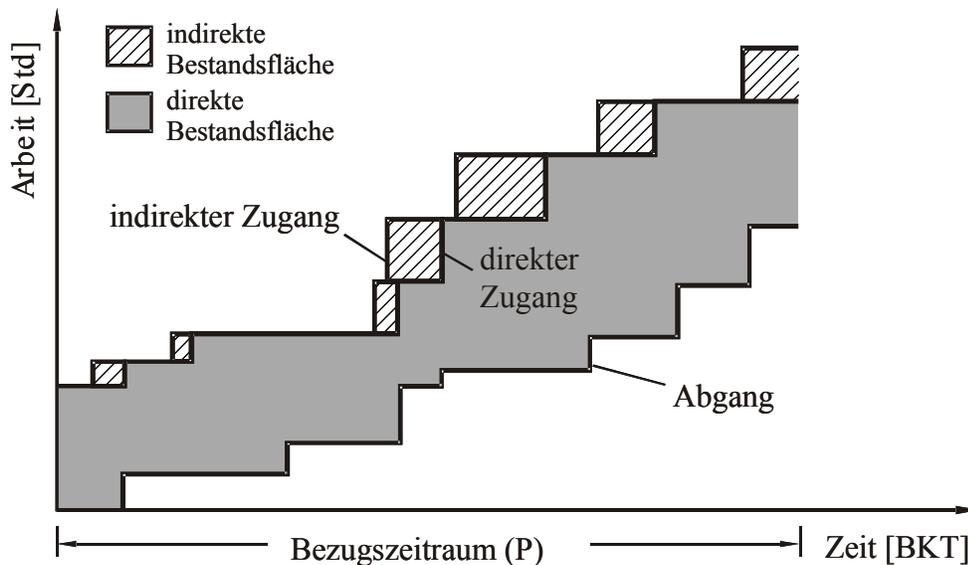


Bild 3: Erweitertes Durchlaufdiagramm eines Arbeitssystems

In der Grundversion bildet das Durchlaufdiagramm Zugang und Abgang eines Arbeitssystems in Vorgabestunden kumulativ über der Zeit ab [5]. Die Zugangskurve beginnt um den Anfangsbestand des Arbeitssystems nach oben versetzt, so dass der vertikale Abstand zwischen Zugangskurve und Abgangskurve stets dem Bestand am Arbeitssystem entspricht. Analog können die Aufträge zum Zeitpunkt der Bearbeitungsfreigabe für das Vorgängerarbeitssystem kumuliert über der Zeit aufgetragen werden. Die Aufträge werden dabei mit ihrem Arbeitsinhalt am betrachteten Arbeitssystem bewertet. Die Kurve wird gegenüber der Zugangskurve wiederum um den Anfangsbestand nach oben verschoben. Der vertikale Abstand zwischen dieser Bearbeitungsfreigabekurve und der Zugangskurve entspricht jeweils dem Indirektbestand des Arbeitssystems. Sein Mittelwert kann aus der Fläche des Indirektbestands und der Periodenlänge berechnet werden:

$$B_{m,ind} = \frac{FB_{ind}}{P} \quad (1)$$

$B_{m,ind}$: mittl. Indirektbestand [Std]

FB_{ind} : indirekte Bestandsfläche [Std*BKT]

P : Länge des Bezugszeitraums [BKT]

Die indirekte Bestandsfläche ist um so größer, je höher die Durchführungszeiten an den Vorgängerarbeitssystemen und die Auftragszeiten am betrachteten Arbeitssystem sind. Sie berechnet sich zu:

$$FB_{ind} = \sum_{i=1}^n (ZAU_i \cdot ZDF_{i,VgAS}) \quad (1)$$

FB_{ind} : indirekte Bestandsfläche [Std*BKT]

ZAU_i : Auftragszeit des i-ten Auftrags [Std]

$ZDF_{i,VgAS}$: Durchführungszeit des i-ten Auftrags am Vorgängerarbeitssystem [BKT]

Die Bestandsgrenze eines Arbeitssystems berechnet sich als Summe von Ziel- und Indirektbestand.

Festlegung der Bestandsgrenze im laufenden Betrieb

In der Praxis ist es auch möglich, die Bestandsgrenze im Betrieb festzulegen. Dazu wird zunächst ein als ausreichend bekannter Bestandwert vorgegeben. Im Sinne eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses beginnen die Mitarbeiter dann, die Bestandsgrenze und damit Bestand und Durchlaufzeiten schrittweise zu reduzieren. Dieses Vorgehen ist etwa von der Kanban-Steuerung bekannt. Die über das Trichtermodell berechnete Bestandsgrenze kann dann als Vergleichswert bzw. als Benchmark dienen.

4 Simulative Evaluierung der DBF

Die DBF wurde anhand eines Simulationsmodells der Fertigung eines Zulieferers der LKW-Industrie evaluiert. Dazu wurde die logistische Zielerreichung mit der DBF zunächst mit einem simulativ erzeugten Vergleichszustand verglichen, der bezüglich der logistischen Kenngrößen weitgehend dem realen Fertigungsprozess entsprach (Abschnitt 4.1). Dieser Vergleichszustand wird im Folgenden als unregelter Prozess bezeichnet. Des Weiteren wurde die DBF mit anderen Fertigungssteuerungsverfahren verglichen (Abschnitt 4.2).

4.1 Vergleich mit dem unregelten Prozess

Der Vergleich mit dem unregelten Prozess umfasste die logistischen Zielgrößen Leistung, Bestand, Durchlaufzeit und Termineinhaltung:

- *Leistung*: Die mittlere Leistung der DBF entsprach weitgehend der des unregulierten Prozesses.
- *Bestand*: Der mittlere Bestand konnte in der Simulation um mehr als dreißig Prozent reduziert werden.
- *Durchlaufzeit*: Die mittlere Auftragsdurchlaufzeit konnte von etwa 22 auf etwa 16 Tage reduziert werden.
- *Termineinhaltung*: Die Durchlaufzeit konnte in der Simulation der DBF besser prognostiziert werden als in der Simulation des unregulierten Prozesses.

4.2 Vergleich mit anderen Fertigungssteuerungsverfahren

Die DBF wurde simulativ mit der Belastungsorientierten Auftragsfreigabe, der Conwip-Steuerung und der Polca-Steuerung verglichen.

Vergleich mit der Belastungsorientierten Auftragsfreigabe

Die Belastungsorientierte Auftragsfreigabe wurde von Bechte am Institut für Fabrikanlagen und Logistik der Universität Hannover entwickelt [6]. Das zentrale Freigabeverfahren hält Aufträge zurück, die überlastete Arbeitssysteme durchlaufen und gibt dafür ggf. Aufträge vorzeitig frei, die ausschließlich nicht überlastete Arbeitssysteme belasten. Ein derartiger Belastungsabgleich ist nicht in die Verfahrensregeln der DBF integriert. Entsprechend konnte in den Simulationsversuchen bei einem vergleichbaren Bestand mit der Belastungsorientierten Auftragsfreigabe eine etwas höhere Leistung erzielt werden als mit der DBF. Die DBF könnte mit der Belastungsorientierten Auftragsfreigabe (oder einem anderen geeigneten zentralen Freigabeverfahren mit Belastungsabgleich) kombiniert werden, um von dem Belastungsabgleich zu profitieren. Dies ist jedoch nicht erforderlich, wenn die Produktionsplanung die Belastung gut auf die Kapazitäten abstimmt.

Vergleich mit der Conwip-Steuerung

Die von Spearman, Woodruff und Hopp entwickelte Conwip-Steuerung hält den Bestand einer Fertigungslinie (bzw. einer Fertigung) auf einem konstanten Niveau: Ein neuer Auftrag darf erst dann in die Fertigung freigegeben werden, wenn ein anderer Auftrag fertig gestellt wird und der Bestand dadurch das Zielniveau unterschreitet [7,1]. Das Verfahren verzichtet ebenfalls auf einen Belastungsabgleich bei der Auftragsfreigabe und ist damit das zentrale Gegenstück zur DBF.

Außer bei sehr niedrigen Auslastungen, die in der Praxis schon allein aus Kostengründen nicht angestrebt werden, erzielte die DBF eine vergleichbare Leistung wie die Conwip-Steuerung. Die DBF kann die Bestände der einzelnen Arbeitssysteme jedoch wesentlich gezielter steuern als eine zentrale Bestandsregelung. Sie ermöglicht so zum einen eine einfachere Prognose der Auftragsdurchlaufzeiten bei komplexen Materialflüssen. Zum anderen können die Mitarbeiter der Fertigung wesentlich stärker in die Verantwortung für die logistischen Ziele einbezogen werden.

Vergleich mit der Polca-Steuerung

Die dezentrale Polca-Steuerung wurde von Suri entwickelt [2]. Ihr Hauptanwendungsgebiet ist eine Fertigung, die in Fertigungszellen organisiert ist. Wie die DBF setzt das Verfahren auf eine Bestandsregelung zwischen den Arbeitssystemen (bzw. Fertigungszellen). Im Unterschied zur DBF regelt sie den Bestand eines Arbeitssystems (bzw. einer Fertigungszelle) jedoch in mehreren Bestandsregelkreisen, die jeweils ein bestimmtes Vorgängerarbeitssystem mit einschließen. Die Simulationsuntersuchungen zeigen, dass sich dies bei komplexen Materialflüssen negativ auswirkt. Die DBF erzielte in dieser Fertigungsumgebung bei einem vergleichbaren Bestand eine höhere Leistung als die Polca-Steuerung.

5 Verfahrenserweiterungen

Es wurden drei Verfahrenserweiterungen für die DBF entwickelt: Die Meilenstein-DBF, die DBF mit überlappter Fertigung und die Rückstandsregelung mit der DBF. Sie werden ausführlich in [3] beschrieben. Die letzten beiden Verfahrenserweiterungen sind in der Lage, die erreichbaren Durchlaufzeiten der Fertigung erheblich zu reduzieren bzw. ihre Termintreue zu erhöhen. Letzteres gilt unter der Voraussetzung, dass die Fertigung über flexible Kapazitäten verfügt. Wenn die tatsächliche Leistung der Fertigung gegenüber der Plan-Leistung zurückfällt, versucht das Verfahren, die Kapazität vor allem des Engpassarbeitssystems zu erhöhen und so eine sonst unvermeidliche Verspätung der Aufträge zu verhindern. Zur Identifikation des Engpasses verwendet das Verfahren Informationen aus der Bestandsregelung.

6 Zusammenfassung

Die DBF ist ein dezentrales Fertigungssteuerungsverfahren, das Bestandsregelkreise zwischen den Arbeitssystemen einer Fertigung implementiert. Hauptparameter des Verfahrens sind die Bestandsgrenzen der Arbeitssysteme, die den Bestand und damit auch die Durchlaufzeit und die bestandsbedingte Auslastung bestimmen. Die Bestandsgrenzen können zweckmäßig mit Hilfe

von Produktionskennlinien dimensioniert werden. Simulationsversuche belegen die Eignung der DBF für eine variantenreiche Produktion mit komplexen Materialflüssen. Neben dem Grundverfahren wurden Erweiterungen entwickelt, die die logistische Zielerreichung weiter verbessern.

7 Danksagung

Der Autor dankt der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Finanzierung der Forschungsarbeiten zur Dezentralen Bestandsorientierten Fertigungsregelung.

8 Literatur

[1] Hopp, W. J.; Spearman, M. L.: *Factory Physics*, Irwin, Chicago et al., 1996.

[2] Suri, R.: *Quick response manufacturing. A companywide approach to reducing lead times*, Productivity Press, Portland, 1998.

[3] Lödding, H.: *Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung*, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 587, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2001.

[4] Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.: *Logistische Kennlinien. Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1999.

[5] Wiendahl, H.-P.: *Fertigungsregelung. Logistische Beherrschung von Fertigungsprozessen auf Basis des Trichtermodells*, Hanser-Verlag, München, 1997.

[6] Bechte, W.: *Steuerung der Durchlaufzeit durch belastungsorientierte Auftragsfreigabe bei Werkstattfertigung*. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 70, VDI-Verlag, Düsseldorf 1984.

[7] Spearman, M. L.; Woodruff, D. L.; Hopp; W. J.: *CONWIP: a pull alternative to kanban*, in: *International Journal of Production Research*, 28 (1990) 5, pp. 879-894.

Autorenbeschreibung: Dr.-Ing. Hermann Lödding studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität Kasiserslautern und promovierte bei Prof. Wiendahl am Institut für Fabrikanlagen und Logistik an der Universität Hannover. Die Dissertation mit dem Titel „Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung“ wurde mit dem Dr.-Jürgen Ulderup-Preis und von der Bundesvereinigung Logistik mit dem Deutschen Wissenschaftspreis Logistik ausgezeichnet. Zur Zeit arbeitet der Autor als Forschungsstipendiat der Deutschen Forschungsgemeinschaft an der Universität von São Paulo in São Carlos / Brasilien.