(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 23 143 T2** 2008.08.07

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 403 748 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 23 143.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP02/04352**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 724 660.2**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/091093**
(86) PCT-Anmeldetag: **01.05.2002**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **14.11.2002**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **31.03.2004**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **24.10.2007**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **07.08.2008**

(51) Int Cl.[8]: ***G05B 19/418*** (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2001134739 01.05.2001 JP

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Tokai University Educational System, Tokio/Tokyo, JP; Information and Mathematical Science Laboratory, Inc., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:
v. Bezold & Partner, 80799 München

(72) Erfinder:
MURAMATSU, Kenji, Itabashi-ku, Tokyo 174-0071, JP; WARMAN, Aditya, Hadano-shi, Kanagawa 257-0003, JP; KOBAYASHI, Minoru, Satte-shi, Saitama 340-0151, JP; YAMAGUCHI, Takuya, Minato-ku, Tokyo 107-0052, JP

(54) Bezeichnung: **BEREICHSGROESSEN-ABLAUFVERFAHREN FUER DIE MEHRFACHBEHANDLUNG VON VIELEN ARTIKELN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel, die geeignet ist, einen Produktionsablaufplan zu erzeugen, der auf ein Produktionssystem für mehrere Prozesse für mehrere Artikel angewendet wird, das mehrere Maschinen verwendet, um Artikel mehreren Schritten entsprechend während dieser Schritte zu verarbeiten und in dem wenigstens eine Maschine oder ein Schritt ermöglicht, dass die Artikel in Verbindung mit einer Einrichtung gewechselt werden.

Stand der Technik

[0002] In Aghezzaf, E. H., u. a., "Hybrid flowshops: An LP based heuristic for the Planning Level Problems", Emerging Technologies and Factory automation, 1995 INRIA/IEEE Symposium, Paris, Frankreich, 10.–13. Oktober 1995, S. 551–559, ISBN: 0-7803-2535-4, ist eine LP-basierte Heuristik für eine Klasse von Problemen auf Ablaufplanungsebene in Hybrid-Fließfertigungen bzw. Hybrid-Flowshops beschrieben. Die betrachtete Produktionsstätte besitzt eine bestimmte Anzahl von Zentren, die auf serielle Weise angeordnet sind, wobei jedes aus einer Gruppe von parallel arbeitenden Maschinen besteht. Das allgemeine Ablaufplanungsproblem wird als Losgrößenbemessungsproblem mit mehreren Ebenen, parallelen Prozessoren, mehreren Artikeln und Befähigung mit Einrichtungszeiten modelliert, wobei ein hierarchischer Zugang zu dem Problem vorgeschlagen wird.

[0003] Im Allgemeinen wird die Produktion bei einem Produktionssystem, das aus mehreren Prozessen und mehreren Maschinen besteht, üblicherweise dadurch ausgeführt, dass eine diversifizierte Bestellung in mehrere Artikel geteilt wird und diese Artikel gewechselt werden. Bei einem Produktionssystem dieser Art, d. h. bei einem Produktionssystem für mehrere Prozesse für mehrere Artikel, muss für jeden Prozess und für jede Maschinenanlage jedes Mal, wenn ein zu verarbeitender Artikel gewechselt wird, eine Einrichtung ausgeführt werden. Diese Einrichtung erfordert eine Einrichtungszeit und einen Einrichtungsaufwand.

[0004] Allerdings kann die Einrichtungszeit 0 sein. Sowohl die Einrichtungszeit als auch die Einrichtungskosten hängen von dem zu verarbeitenden Artikel ab. Andererseits erfordert ein Bestand von Artikeln einen Lagerhaltungsaufwand, der proportional zur Zeitdauer der Lagerhaltung ist. Der Lagerhaltungsaufwand hängt von dem Artikel ab. Somit ist es notwendig, für das gesamte Produktionssystem für mehrere Prozesse für mehrere Artikel einen optimalen Ablaufplan zu erstellen, der einen Engpass von Artikeln oder eine Verzögerung bei der Lieferung verhindert und der den Gesamtaufwand über eine Planungsperiode minimiert. Diese Ablaufplanung wird "Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel" genannt.

[0005] Diese Ablaufplanung behandelt Zeitoptimierungsprobleme, mit anderen Worten, für einen optimalen Steuerprozess zu lösende Probleme. Während immer mehr Artikel produziert werden, nimmt die Größe ihres Bestands zu. Andererseits nimmt die Größe ihres Bestands ab, während immer mehr Artikel verbraucht werden. Dementsprechend muss der zeitliche Übergang des Bestands für alle Artikel über die Planungsperiode explizit verfolgt werden.

[0006] Ferner enthält ein einzelnes Problem bei der Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Artikeln von mehreren Prozessen eine Mischung verschiedener heterogener Entscheidungsmerkmale. Insbesondere enthält die Mischung diskrete Entscheidungsmerkmale und kontinuierliche Entscheidungsmerkmale. Diese verschiedenen heterogenen Merkmale sind einander zugeordnet und somit schwer zu trennen. Somit ist das obige Ablaufplanungsproblem schwer zu lösen. Die verschiedenen in dem Ablaufplanungsproblem enthaltenen Entscheidungsmerkmale enthalten die Losgrößenbemessung, die Losablaufsteuerung, die Losaufteilung, die Absendung und eine Entscheidung für einen Bestand an Halbfertigprodukten für jeden Artikel. Außerdem enthalten sie eine Entscheidung für eine wiederholte Verarbeitung, die durch dieselbe Maschine ausgeführt wird. Diese Entscheidungsmerkmale ändern sich alle mit der Zeit.

[0007] Allerdings gehört die Losgrößenbemessung im Stand der Technik z. B. unter der Annahme, dass sie zeitlich unveränderlich ist, in die Kategorie der kontinuierlichen Mathematik. Andererseits gehört die Losablaufsteuerung in die Kategorie der diskreten Mathematik.

[0008] Außerdem sind die Probleme bei der Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel mehrdimensional. Dies liegt daran, dass ein einzelner Artikel wenigstens eine Dimension bildet. Dementsprechend ist das Ablaufplanungsproblem ein mehrdimensionales Zeitoptimierungsproblem. In diesem Fall

nehmen die Zeit und die Speicherkapazität, die für die Berechnungen erforderlich sind, explosionsartig zu, wenn das Ablaufplanungsproblem nicht zerlegt wird. Somit ist im Stand der Technik nicht zu erwarten, dass im Bereich sinnvoller Zeit und Speicherkapazität eine Lösung des Ablaufplanungsproblems gefunden wird. Dies ist weithin bekannt als Bellmans Fluch der Dimensionalität, wie er im Dokument 1 "Bellman, R.: Adaptive Control Processes: A Guided Tour, Princeton University Press (1961)" beschrieben ist.

[0009] Somit wird betrachtet, dass die verschiedenen in dem Ablaufplanungsproblem enthaltenen heterogenen Entscheidungsmerkmale zerlegt werden können. Da diese heterogenen Entscheidungsmerkmale einander zugeordnet und somit schwer zu trennen sind, ist diese Zerlegung aber schwer. Somit nutzt der Stand der Technik ein Verfahren zum sequentiellen Aufnehmen der heterogenen Entscheidungsmerkmale und zum getrennten Verarbeiten jedes aufgenommenen Merkmals.

[0010] Allerdings müssen jedem Merkmal künstliche Bedingungen auferlegt werden, um ein interessierendes Merkmal von den anderen zu trennen, d. h., um das interessierende Merkmal explizit zu behandeln. Zum Beispiel erfordert die Losablaufsteuerung, dass die Größe jedes Loses zuvor bestimmt wird. Somit werden im Stand der Technik jedes Mal, wenn ein Merkmal von den anderen getrennt wird, unvermeidlich künstliche Bedingungen auferlegt, um ein mehrdimensionales Zeitoptimierungsproblem, das verschiedene heterogene Entscheidungsmerkmale enthält, zu lösen. Folglich ist es schwierig, alle Merkmale gleichzeitig zu optimieren.

Offenbarung der Erfindung

[0011] Die vorliegende Erfindung wird angesichts der obigen Umstände geschaffen. Somit ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Erzeugung eines wirtschaftlichen, sinnvollen und ausführbaren Ablaufplans zu ermöglichen, der verschiedene Entscheidungsmerkmale, die in einem Ablaufplanungsproblem von mehreren Prozessen für mehrere Artikel enthalten sind, hinsichtlich der allgemeinen Optimierung, ohne diese Merkmale aufzuzählen oder sich ihrer bewusst zu sein und ohne irgendeine Notwendigkeit künstlicher Bedingungen, löst.

[0012] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird eine Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel gemäß Anspruch 1 geschaffen.

[0013] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird eine Vorrichtung zur Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel gemäß Anspruch 11 geschaffen.

[0014] In einer Ausführungsform der Losgrößen-Ablaufplanung mehrerer Produkte für mehrere Artikel erzeugt ein Computer einen Produktionsablaufplan, der auf ein Produktionssystem für mehrere Prozesse für mehrere Artikel angewendet wird. Wenigstens eine Maschine oder ein Prozess in diesem System ermöglicht, dass Artikel mit Einstellung in Verbindung mit der Einstellung gewechselt werden. Dieses Verfahren umfasst einen Lösungsschritt, einen Koordinierungsschritt, einen Schritt der erneuten Ausführung und einen Erzeugungsschritt. Der Lösungsschritt umfasst das Lösen eines artikelbasierten eindimensionalen Suboptimierungsproblems unabhängig von den anderen Artikeln, wobei das Problem unter einer ersten Bedingung zur Brachzeit zwischen den Artikeln und unter einer zweiten Bedingung, die einen Bestand an Halbfertigartikeln auf einen nicht negativen Wert beschränkt, steht, wobei das Problem einem Problem bei der Ablaufplanung von mehreren Verfahren für mehrere Artikel entspricht und gelöst wird, um einen Ablaufplan für jeden Artikel, der in dem entsprechenden Prozess verarbeitet wird, zu erstellen. Der Koordinierungsschritt umfasst das Ausführen einer Koordinierung, die zum Erfüllen der ersten und der zweiten Bedingung auf der Grundlage einer artikelbasierten Lösung in dem Lösungsschritt erforderlich ist.

[0015] Der Schritt der erneuten Ausführung umfasst das Veranlassen, dass der Lösungsschritt jedes Mal, wenn der Koordinierungsschritt ausgeführt wird, erneut ausgeführt wird. Der Erzeugungsschritt umfasst das Erzeugen eines Produktionsablaufplans auf der Grundlage der artikelbasierten Lösung, die in dem Lösungsschritt gefunden wird, wenn die erste und die zweite Bedingung erfüllt sind.

Kurzbeschreibung der Zeichnung

[0016] Fig. 1 ist ein Blockschaltplan, der die Funktionskonfiguration einer Vorrichtung zur Losgrößen-Ablaufplanung für mehrere Prozesse für mehrere Artikel gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0017] Fig. 2 ist ein Blockschaltplan, der eine Konfiguration eines Computers zeigt, der die Vorrichtung zur

Ablaufplanung in Fig. 1 implementiert.

[0018] Fig. 3 ist ein Ablaufdiagramm, das Operationen der Vorrichtung zur Ablaufplanung in Fig. 1 veranschaulicht.

[0019] Fig. 4 ist ein Ablaufdiagramm, der eine ausführliche Prozedur veranschaulicht, die in Schritt **305** in Fig. 3 ausgeführt wird.

[0020] Fig. 5 ist eine Tabelle, die die Beziehung veranschaulicht, die in einem Zustandsübergang von (δ_{it-1}^{k}, s_{it-1}^{k}) zu (δ_{it}^{k}, s_{it}^{k}) beobachtet wird.

[0021] Fig. 6 ist ein Diagramm, das einen Zustandsübergang in (δ_{it}^{k}, s_{it}^{k}) zeigt.

[0022] Fig. 7A ist eine graphische Darstellung, die einen typischen Bestandslagerungsaufwand veranschaulicht.

[0023] Fig. 7B ist eine graphische Darstellung, die einen Staffelbestandslagerungsaufwand veranschaulicht.

[0024] Fig. 8 ist ein Diagramm, das schematisch eine Konfiguration eines Produktionssystems für mehrere Prozesse für mehrere Artikel zeigt, auf das ein durch die Vorrichtung zur Ablaufplanung in Fig. 1 erzeugter Ablaufplan angewendet wird.

Bevorzugte Ausführungsform der Erfindung

[0025] Fig. 1 ist ein Blockschaltplan, der die Funktionskonfiguration einer Vorrichtung zur Losgrößen-Ablaufplanung für mehrere Prozesse für mehrere Artikel gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Die Vorrichtung zur Ablaufplanung in Fig. 1 besitzt eine Funktion zum Lösen eines Problems bei der Ablaufplanung in einem aus mehreren Prozessen zusammengesetzten Produktionssystem. Dieses Problem ist ein mehrdimensionales Zeitoptimierungsproblem bei der Ablaufplanung (Losgrößen-Ablaufplanung mehrerer Produkte für mehrere Artikel), die dafür erforderlich ist, die Produktion auszuführen, indem eine diversifizierte Bestellung in mehrere Artikel geteilt wird und sie gewechselt werden. Außerdem besitzt die Vorrichtung zur Ablaufplanung in Fig. 1 eine Funktion zum Bestimmen eines optimalen Ablaufplans (optimalen Produktionsablaufplans), der auf das Produktionssystem angewendet wird, auf der Grundlage einer Lösung eines mehrdimensionalen Zeitoptimierungsproblems.

[0026] Die Vorrichtung zur Ablaufplanung in Fig. 1 wird z. B. durch einen Computer wie etwa durch einen Personal Computer mit einer wie in Fig. 2 gezeigten Blockkonfiguration implementiert. Der Computer in Fig. 2 umfasst eine CPU **21**, einen Hauptspeicher **22**, ein Magnetplattenlaufwerk (im Folgenden als ein "HDD" bezeichnet) **23**, eine CD-ROM-Vorrichtung **24**, eine Tastatur **25** und eine Anzeige **26**. Die CPU **21**, der Hauptspeicher **22**, das HDD **23**, die CD-ROM-Vorrichtung **24**, die Tastatur **25** und die Anzeige **26** sind durch einen Systembus **27** miteinander verbunden.

[0027] Die CPU **21** ist eine Hauptsteuereinheit des Computers. Der Hauptspeicher **22** speichert verschiedene von der CPU **21** ausgeführte Programme, Daten und dergleichen. Das HDD **23** ist eine externe Speichervorrichtung des Computers. Die CD-ROM-Vorrichtung **24** besitzt eine Funktion, um auf einer CD-ROM **242** gespeicherte Informationen in den Computer zu laden. Die CD-ROM **242** speichert ein Optimierungsablaufplanungsprogramm **241**, das für die Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel, angewendet auf ein Produktionssystem, das unter Verwendung mehrerer Prozesse (Mehrprozesssystem) und mehrerer Maschinen (Mehreinrichtungssystem) mehrere Artikel erzeugt, erforderlich ist. Es wird angenommen, dass das Programm **241** durch die CD-ROM-Vorrichtung **24** von der CD-ROM **242** in den Computer geladen und daraufhin in dem HDD **23** gespeichert (installiert) worden ist. Alternativ kann das Programm **241** über eine Kommunikationsleitung (in der Zeichnung nicht gezeigt) in das HDD **23** heruntergeladen werden. Die Tastatur **25** ist eine Eingabevorrichtung, die zum Eingeben von Produktionsdaten und dergleichen verwendet wird, die zum Erzeugen eines optimalen Ablaufplans erforderlich sind. Die Anzeige **26** ist eine Ausgabevorrichtung für die Anzeige. In der vorliegenden Ausführungsform wird die Funktionskonfiguration der Vorrichtung zur Ablaufplanung in Fig. 1 durch die CPU **21** durch das Laden des in dem HDD **23** installierten Optimierungsablaufplanungsprogramms **241** in den Hauptspeicher **22** und daraufhin durch das Ausführen dieses Programms **241** implementiert.

<<Grundprinzip der Optimierungsablaufplanun>>

[0028] Es wird nun eine Beschreibung des Grundprinzips der Optimierungsablaufplanung gegeben, die in der vorliegenden Ausführungsform angewendet wird und die erforderlich ist, um alle Entscheidungsmerkmale wie etwa Losgrößenbemessung, Losablaufsteuerung, eine Entscheidung für eine Bestandhaltung an Halbfertigprodukten und dergleichen für jeden Artikel gleichzeitig zu optimieren.

<Formulierung eines Zeitoptimierungsproblems zu einem hochaufgelösten Modell>

[0029] In der vorliegenden Ausführungsform wird ein Ablaufplanungsproblem, d. h. ein mehrdimensionales Optimierungsproblem, zu einem hochaufgelösten Modell formuliert. Somit wird eine Planungsperiode in der vorliegenden Ausführungsform in kurze Zeitdauern geteilt, die "Zeitfenster" genannt werden. Darüber hinaus wird das Zeitoptimierungsprogramm in artikelbasierte Teile zerlegt.

[0030] Ein Zeitfenster ist die minimale Zeiteinheit, die dazu verwendet wird, ein Problem diskret zu lösen. Die Breite des Zeitfensters wird so bestimmt, dass ein Rundungsfehler, insbesondere in der Einrichtungszeit oder im Durchsatz (in der Produktion) pro Zeitfenster, in einem zulässigen Bereich liegt. Falls die Planungsperiode z. B. in 10-Minuten-Einheiten geteilt wird, beträgt ein Rundungsfehler in der Einrichtungszeit fünf Minuten, sodass ein Rundungsfehler im Durchsatz einer Menge entspricht, die innerhalb von fünf Minuten verarbeitet werden kann. Falls diese Rundungsfehler zulässig sind, wird die Breite des Zeitfensters (des Inkrements) als 10 Minuten bestimmt.

[0031] Somit ist die Teilung der Zeit in kleine Einheiten wesentlich beim gleichzeitigen Lösen aller Entscheidungsmerkmale eines Problems, ohne sich der sequentiellen Aufnahme aller Entscheidungsmerkmale des Problems bewusst zu sein. Nachfolgend wird das Problem für jeden Artikel behandelt, da die tatsächliche Verarbeitung auf der Grundlage von Artikeln ausgeführt wird oder eine tatsächliche Bestellung auf der Grundlage von Artikeln aufgegeben wird.

[0032] Um das Detailkonzept in einem Modell zu klären, ist hier die "Auflösung des Modells" wie folgt definiert. Um einen Ablaufplanungs- oder Geschäftsprozess in einem Gleichungsmodell zu formulieren, ist es zunächst notwendig, eine Zeitachse und mehrere Achsen, die einen Raum definieren, einzustellen. Der Geschäftsprozess wird auf diesem Koordinatenraum auseinander gezogen. Somit werden alle Minimaleinheiten, in die diese Achsen geteilt werden, aufgezählt und somit die "Auflösung des Modells" genannt. In der vorliegenden Ausführungsform entspricht die Auflösung des Modells Zeitfenstern, Artikeln und Maschinenanlagen. Folglich kann die Auflösung eines erhaltenen Ablaufplans selbst dann identifiziert werden, wenn sich die Zeitfenster, die Artikel und die Maschinenanlagen ändern.

<Zerlegung eines Problems in artikelbasierte Teile>

[0033] Ein mehrdimensionales Optimierungsproblem in einer Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel kann in Teile geteilt werden. Ferner umfasst dieses mehrdimensionale Optimierungsproblem Bedingungsgleichungen. In diesem Punkt ist das Losgrößen-Ablaufplanungsproblem von mehreren Prozessen für mehrere Artikel ähnlich einem Losgrößen-Ablaufplanungsproblem einer einzelnen Maschine von mehreren Artikeln, das im Dokument 2, "Kenji MURAMATSU: Simultaneous Optimization Scheduling Using Narrow Sense Lagrangian Decomposition Coordination Method, Operations Research, Bd. 45, Nr. 6, S. 270 bis 275 (2000)", beschrieben ist. Somit wird das Losgrößen-Ablaufplanungsproblem von mehreren Prozessen von mehreren Artikeln in der vorliegenden Ausführungsform in artikelbasierte Teile zerlegt. Falls diese Zerlegung möglich ist, wird als die Lösung und Koordinierung, die unten erwähnt sind, selbst dann eine Lösung zu dem Problem gefunden, wenn das Zielproduktionssystem insbesondere wegen seiner mehreren Prozesse eine sehr komplizierte Struktur aufweist. Das heißt, die Lösung zu dem Problem wird als eine Lösung zu einem artikelbasierten Suboptimierungsproblem und zu einer artikelbasierten Koordinierung gefunden, die zur Erfüllung der Interaktionsbedingungen erforderlich sind.

[0034] Allerdings ermöglicht das immer noch nicht, ein Suboptimierungsproblem in der Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen von mehreren Artikeln unabhängig von den anderen Problemen zu lösen. Der Grund ist wie folgt: Ein Mehrprozess-Ablaufplanungssystem hängt mit Halbfertigartikeln zusammen. Die Größe der Bestandhaltung tatsächlicher Halbfertigartikel nimmt zu, falls diese Artikel vor einem Prozess verarbeitet werden, und nimmt ab, falls sie nach dem Prozess verarbeitet werden. Somit hängt ein einzelner Artikel mit zwei Verarbeitungslinien zusammen. Mit anderen Worten, vor oder nach der Verarbeitung sind wenigstens zwei Typen von Artikeln vorhanden, wobei die Anzahl dieser Artikel wegen der Verarbeitung in einer der Linien

zu- oder abnimmt. Falls ein Versuch unternommen wird, eines dieser Unterprobleme zu optimieren, wird dementsprechend die Optimierung des anderen Unterproblems beeinflusst. Diese Beziehung zwischen einem einzelnen Artikel und zwei Linien der Verarbeitung ist das Haupthindernis für die Zerlegung und Koordinierung in dem Lagrangeschen Zerlegungskoordinierungsverfahren.

<Scheinbarer Bestand>

[0035] Zunächst wird die "Unabhängigkeit der Verarbeitung" eingeführt, um ein Problem zu klären, das der Beziehung zwischen einem einzelnen Artikel und zwei Linien der Verarbeitung zuzuschreiben ist. Die "Unabhängigkeit der Verarbeitung" ist wie folgt definiert: Die "Unabhängigkeit der Verarbeitung" ist hergestellt, wenn ein Ablaufplanungsproblem in Suboptimierungsprobleme zerlegt worden ist und falls dieselbe Verarbeitung oder dieselbe Linie der Verarbeitung über mehrere Suboptimierungsprobleme nicht auftritt.

[0036] Um die Unabhängigkeit der Verarbeitung sicherzustellen, muss eine der zwei Linien der Verarbeitung von diesem einzelnen Artikel beseitigt werden, ohne das Wesen des Problems zu ändern. Das für diesen Zweck verwendete Mittel ist das im Folgenden definierte Konzept eines "scheinbaren Bestands". Im Allgemeinen ist der Bestand an Halbfertigprodukten ein tatsächlicher Bestand, der zwischen Prozessen auftritt. Dementsprechend kann der Bestand an Halbfertigprodukten als die Summe eines Anfangsbestands und einer akkumulierten Produktion abzüglich einer tatsächlichen akkumulierten Lieferung oder einem akkumulierten Durchsatz für den nächsten Prozess definiert werden. Allerdings wird in der vorliegenden Ausführungsform für einen bestimmten Artikel anstelle der akkumulierten Lieferung, die tatsächlich an den nächsten Prozess geliefert wird, unter Verwendung der akkumulierten Menge eine Menge berechnet, die dem Bestand an Halbfertigprodukten entspricht. Diese akkumulierte Menge wird dadurch berechnet, dass eine Außenlieferungsanforderung (außerhalb des Produktionssystems) (Außenbedarf), wie in der später beschriebenen Gleichung (1) gezeigt ist, in jedem Zeitfenster in den Artikel auseinander gezogen wird. Die Menge, die dem Bestand an Halbfertigprodukten entspricht, ist kein tatsächlicher Bestand an Halbfertigprodukten, sondern ein gedachter oder scheinbarer Bestand. Dies wird im Folgenden ein "scheinbarer Bestand" genannt.

[0037] Dadurch, dass somit anstelle des Konzepts des Bestands an Halbfertigprodukten das Konzept des scheinbaren Bestands eingeführt wird, kann ein Artikel einer Verarbeitungslinie zugeordnet werden. Allerdings kann die Ablaufplanungsverarbeitung auf der Grundlage des scheinbaren Bestands zu einem Engpass des tatsächlichen Bestands an Halbfertigprodukten führen. Somit ist es notwendig, Mittel zu haben, um dieses Risiko zu vermeiden. Um dies zu erreichen, führt die vorliegende Ausführungsform das im Folgenden definierte Konzept der "Konsistenz der Verarbeitung" ein.

[0038] Die Größe des tatsächlichen Bestands eines Halbfertigartikels wird durch Verarbeitung dieses Halbfertigartikels und eines Artikels, der auf diesen Halbfertigartikel folgt, erhöht oder verringert. Wenn diese Verarbeitung auf der Grundlage der Unabhängigkeit der Verarbeitung und des scheinbaren Bestands dahingehend möglich ist, dass es keinen Engpass des Bestands an Halbfertigprodukten gibt, wird gesagt, dass die "Konsistenz der Verarbeitung" hergestellt worden ist. Umgekehrt wird die Unabhängigkeit der Verarbeitung beobachtet, solange die "Konsistenz der Verarbeitung" erhalten ist, während sie nicht beobachtet wird, wenn die "Konsistenz der Verarbeitung" verloren gegangen ist. Dementsprechend ist eine Koordinierung erforderlich, um einen Engpass des tatsächlichen Bestands an Halbfertigprodukten zu vermeiden (d. h. um einen ausreichenden tatsächlichen Bestand an Halbfertigprodukten zu erhalten). Diesbezüglich ist der nachfolgende Artikel ein Artikel y, der während eines Prozesses sofort nach der Produktion eines bestimmten Artikels x produziert wird und der dadurch produziert wird, dass der Artikel x selbst aufgenommen wird. In dem später beschriebenen in **Fig. 8** gezeigten Beispiel ist der Artikel y ein Artikel i, ein Artikel i-1 und andere, die einem Artikel 1 entsprechen. Andererseits wird der Artikel x während eines Prozesses unmittelbar vor dem Artikel y produziert, d. h. der Artikel x geht dem Artikel y voraus.

<Das Erzielen der Konsistenz der Verarbeitung>

[0039] Um in der vorliegenden Ausführungsform die wie oben beschrieben definierte Konsistenz der Verarbeitung zu erreichen, wird zu den Interaktionsbedingungen eine Bedingung, um zu verhindern, dass der tatsächliche Bestand an Halbfertigprodukten ausgeht, d. h. eine Nichtnegativitätsbedingung für den tatsächlichen Bestand an Halbfertigprodukten, wie folgt hinzugefügt: Wie in der später beschriebenen Gleichung (7) gezeigt ist, wird zunächst der scheinbare Bestand verwendet, um die Menge zu formulieren, die dem tatsächlichen Bestand an Halbfertigprodukten entspricht. Nachfolgend wird für den unter Verwendung des scheinbaren Bestands formulierten Bestand an Halbfertigprodukten zu den Bedingungen zwischen den Unterproblemen, d. h. zu den Interaktionsbedingungen, seine Nichtnegativitätsbedingung hinzugefügt und explizit verarbeitet.

<Staffelbestandslagerungsaufwand>

[0040] Da die Unterprobleme eher durch Konzentration auf den scheinbaren Bestand als auf den tatsächlichen Bestand an Halbfertigprodukten gelöst werden, werden die Berechnungen jedoch inkonsistent, falls ein normaler Bestandslagerungsaufwand angewendet wird. Somit muss der Bestandslagerungsaufwand in Verbindung mit dem scheinbaren Bestand verstanden werden. Daraufhin kann der Bestandslagerungsaufwand so berechnet werden, dass er die tatsächliche Situation widerspiegelt. In diesem Fall kann ein bekanntes Verfahren verwendet werden. Das heißt, es ist das Konzept eines "Staffelbestandslagerungsaufwands" verfügbar.

[0041] Im Folgenden wird der Staffelbestandslagerungsaufwand beschrieben. Wenn die Verarbeitung zum Neuhinzufügen eines Werts zu dem Artikel ausgeführt wird, kann zunächst für jeden Artikel der Bestandslagerungsaufwand für den neu hinzugefügten Wert geschätzt werden. Hier wird angemerkt, dass der Bestandslagerungsaufwand nicht für den gesamten Wert für den sich aus der Verarbeitung ergebenden Artikel geschätzt wird. Darüber hinaus wird dieser Wert selbst dann als unveränderlich betrachtet, wenn der Artikel in einen anderen Artikel aufgenommen wird, solange der erstere Artikel in dem System behalten wird. In diesem Fall wird der Bestandslagerungsaufwand nur für den neu hinzugefügten Abschnitt des Werts für den neu produzierten Artikel geschätzt. Der so definierte Bestandslagerungsaufwand wird "Staffelbestandslagerungsaufwand" genannt.

[0042] Anhand der **Fig. 7A** und **Fig. 7B** werden die Einzelheiten des Staffelbestandslagerungsaufwands beschrieben, wobei z. B. der Fall als Beispiel gewählt wird, in dem der Artikel 3, der Artikel 1 und Artikel 2 enthält, produziert und geliefert wird. Zunächst wird angenommen, dass zum Zeitpunkt $\tau 1$ der Artikel 1 produziert wird und dass zum Zeitpunkt $\tau 2$ der Artikel 2 produziert wird. Es wird angenommen, dass zum Zeitpunkt $\tau 3$ der Artikel 3 produziert wird und dass zum Zeitpunkt $\tau 4$ der Artikel 4 geliefert wird. Der für die Werte für die Artikel 1 und 2 geschätzte Bestandslagerungsaufwand wird als h1 bzw. h2 definiert. Ein Bestandslagerungsaufwand, der für den neu hinzugefügten Wert geschätzt wird, der durch Produzieren des Artikels 3 erhalten wird, wird als h3 definiert.

[0043] Wie in **Fig. 7A** gezeigt ist, tritt der Bestandslagerungsaufwand h1 des Artikels 1 in diesem Fall im Allgemeinen zwischen dem Zeitpunkt $\tau 1$ und dem Zeitpunkt $\tau 3$ auf. Der Bestandslagerungsaufwand h2 des Artikels 2 tritt zwischen dem Zeitpunkt $\tau 2$ und dem Zeitpunkt $\tau 3$ auf. Ferner ist der Bestandslagerungsaufwand des Artikels 3 gleich h1 + h2 + h3, d. h. der Bestandslagerungsaufwand h3 zuzüglich des Summe h1 + h2 des Bestandslagerungsaufwands h1 und h2 der Artikel 1 und 2. Der Bestandslagerungsaufwand h1 + h2 + h3 des Artikels 3 tritt zwischen dem Zeitpunkt $\tau 3$ und dem Zeitpunkt $\tau 4$ auf.

[0044] Wie in **Fig. 7B** gezeigt ist, wird andererseits bei dem Staffelbestandslagerungsaufwand der Bestandslagerungsaufwand h1 und h2 des Artikels 1 bzw. 2 selbst nach dem Zeitpunkt $\tau 3$, wenn die Artikel 1 und 2 in dem Artikel 3 enthalten sind, als unveränderlich behandelt. Die Bestandslagerungsaufwände h1 und h2 des Artikels 1 bzw. 2 werden bis zum Lieferzeitpunkt $\tau 4$ für den Artikel 3 fortgesetzt. Ferner ist der Bestandslagerungsaufwand des Artikels 3 nur h3, der für den neu hinzugefügten Wert geschätzt wird, wobei betrachtet wird, dass er zwischen dem Zeitpunkt $\tau 3$ und dem Zeitpunkt $\tau 4$ auftritt. Dies ermöglicht, die Bestandslagerungsaufwände der Artikel 1, 2 und 3 unabhängig zu behandeln. Dies ermöglicht wiederum, die Bestandslagerungsaufwände auf die scheinbare Bestandhaltung zu stützen.

<Lösung unter Verwendung wiederholter Berechnungen auf der Grundlage des Lagrangeschen Zerlegungskoordinierungsverfahrens>

[0045] In der vorliegenden Ausführungsform wird durch Anwenden einer Lagrangeschen Lockerung auf alle Interaktionsbedingungsgleichungen eine Lagrange-Funktion abgeleitet. Diese Lagrange-Funktion kann zerlegt werden. Somit wird durch abwechselnde Wiederholung der zwei im Folgenden beschriebenen Prozesse die Problemoptimierung ausgeführt.

[0046] Einer der zwei Prozesse ist das Lösen eines artikelbasierten Suboptimierungsproblems für einen gegebenen Lagrange-Multiplikatorwert unabhängig von den anderen Artikeln. Der andere ist das Aktualisieren eines Lagrange-Multiplikatorwerts entsprechend jeder Bedingung. Zum Lösen der Unterprobleme wird eine dynamische Programmierung verwendet. In einem Unterproblem werden einige Bedingungsgleichungen explizit behandelt, während andere Bedingungsgleichungen als Interaktionsbedingungen behandelt werden.

<Eigenschaften einer in der vorliegenden Ausführungsform angewendeten Lösung>

[0047] Es wird betrachtet, dass ein Ablaufplanungsproblem dadurch gelöst werden kann, dass es wie oben beschrieben in einem Modell mit einer hohen Auflösung formuliert und daraufhin das Lagrange-Zerlegungskoordinierungsverfahren verwendet wird. Zum Beispiel wird hier betrachtet, dass für ein Ablaufplanungsproblem für die Losgröße einer einzelnen Maschine von mehreren Artikeln das Lagrange-Zerlegungskoordinierungsverfahren verwendet werden kann, um ein Produktionsbestandslagerungsproblem für jeden Artikel unabhängig von den anderen Artikeln zu optimieren und um eine Gebühr (d. h. einen Lagrange-Multiplikatorwert) für ein Zeitfenster, in dem die Brachzeit auftritt, zu koordinieren, um die Brachzeit zu vermeiden.

[0048] Allerdings müssen in der vorliegenden Ausführungsform außer den obigen Artikeln (den zu versendenden Artikeln) Artikel, die zwischen Prozessen auftreten, d. h. Halbfertigartikel, zerlegt werden. Dementsprechend ist ein Mechanismus erforderlich, der nicht nur die Zerlegung der Artikel, sondern auch die der Prozesse ermöglicht. Somit wird in der vorliegenden Ausführungsform die Unabhängigkeit der Verarbeitung dadurch abgeleitet, dass die Konzepte des Bestands an Halbfertigprodukten, insbesondere des scheinbaren Bestands, der dem Bestand an Halbfertigprodukten entspricht, sowie des Staffelbestandslagerungsaufwands eingeführt werden. Um die Konsistenz der Verarbeitung sicherzustellen, wird in der vorliegenden Ausführungsform ferner der scheinbare Bestand zum Formulieren des tatsächlichen Bestands an Halbfertigprodukten verwendet, wobei zu der Interaktionsbedingung eine Nichtnegativitätsbedingung für den Bestand an Halbfertigprodukten hinzugefügt wird. Auf diese Weise verwendet die vorliegende Ausführungsform das neue Verfahren zum Zerlegen eines artikelbasierten Problems von mehreren Prozessen für mehrere Artikel durch Einführen der Konzepte des scheinbaren Bestands und des Staffelbestandslagerungsaufwands und durch Verwenden der obigen Formulierung. In diesem Fall wird angemerkt, dass die allgemeine Optimierung dadurch ausgeführt wird, dass nicht nur die Zeitfenster, in denen die Brachzeit auftritt, sondern ebenfalls Lagrange-Multiplikatoren koordiniert werden (d. h. duale Variablen). Der Lagrange-Multiplikator entspricht einer Gebühr (Strafaufwand) für ein Zeitfenster, in dem der Bestand an Halbfertigprodukten unzureichend ist.

<<Formulierung>>

[0049] Es wird nun eine Beschreibung der Einzelheiten der Formulierung in dem Grundprinzip der Optimierungsablaufplanung gegeben.

<Vorbedingungen>

[0050] Zunächst werden Vorbedingungen für ein Optimierungsablaufplanungsproblem geklärt, das in der vorliegenden Ausführungsform aufgegriffen wird.

(1) Aufgabe und Anwendungsumfang

[0051] Jeder Artikel in jedem Prozess und jeder Maschinenanlage wird zu Losen gebildet, wenn er verarbeitet wird. Wenn dieses Problem gelöst worden ist, wird die Größe der Lose bestimmt. Die Optimierungsablaufplanung kann sowohl auf Artikel, die nicht verarbeitet werden können, bevor eine Bestellung entschieden worden ist, als auch auf Standardartikel, bei denen zugelassen ist, dass sie eine Anfangsbestandhaltung haben, angewendet werden. Im ersteren Fall werden alle Anfangsbestände als 0 behandelt. Genauer wird die Optimierungsablaufplanung wahrscheinlich auf einen gesamten Produktionsprozess oder auf einen Teil eines Produktionsprozesses für Leiterplatten, Halbleiter, Küchenmöbel, Audio/Video-Ausrüstung (AV-Ausrüstung), Optikausrüstung oder dergleichen angewendet.

[0052] Fig. 8 zeigt ein Beispiel einer Konfiguration eines Produktionssystems für mehrere Prozesse für mehrere Artikel, das die Produktion durch Zerlegen einer diversifizierten Bestellung in mehrere Artikel und ihr Wechseln gemäß einem Ablaufplan, der durch die Vorrichtung zur Ablaufplanung in Fig. 1 erzeugt wurde, ausführt. Zum Beispiel wiederholt dieselbe Maschine 4 in dem System in Fig. 8 die Verarbeitung an den Artikeln p-1 und p. In der vorliegenden Ausführungsform kann die Optimierungsablaufplanung ähnlich Systemen, die eine solche Verarbeitung nicht ausführen, auf Systeme angewendet werden, in denen die Verarbeitung, wie durch die Beziehung zwischen der Maschine 4 und den Artikeln p-1 und p gezeigt ist, an derselben Maschinenanlage wiederholt wird. Ein Beispiel ist der Fall, in dem zur Ausführung sowohl des Druckverdrahtungsprozesses für die Vorderseiten von Leiterplatten als auch des Druckverdrahtungsprozesses für ihre Rückseiten dieselbe Maschinenanlage verwendet wird. Obgleich alle Leiterplatten dieselben sind, werden in diesem Fall die Leiterplatten, deren Vorderseiten den Druckverdrahtungsprozess durchlaufen, von den Leiterplatten, deren Rückseiten den Druckverdrahtungsprozess durchlaufen, unterschieden. Das heißt, die Leiterplatten, deren

Vorderseiten den Druckverdrahtungsprozess durchlaufen, werden als andere Artikel als die Leiterplatten, deren Rückseiten den Druckverdrahtungsprozess durchlaufen, behandelt (wobei die ersteren eine andere Verarbeitungszahl als die letzteren haben) und umgekehrt. Dies entspricht den Artikeln p-1 und p an der Maschine 4 in **Fig. 8**.

(2) Anforderungen für Daten

2a) Während verschiedener Zeitfenster über die Planungsperiode werden Lieferanforderungsdaten für jeweilige Artikel gegeben.
2b) Es wird angenommen, dass während jedes Zeitfensters eine akkumulierte angeforderte Nettolieferung, die durch die Verarbeitungszeit dargestellt ist, die Prozesskapazität nicht übersteigt. Tatsächlich bezieht sich die Einrichtungszeit für den Wechsel auf diese Anforderung. Allerdings wird in der vorliegenden Ausführungsform angenommen, dass die Bedingungen für die Anwesenheit einer möglichen Lösung erfüllt worden sind.

(3) Übertragungszeit zwischen Prozessen

[0053] Falls die Übertragungszeit zwischen Prozessen oder die Vorlaufzeit (eine Zeitdauer vor der Verarbeitung) für die Verarbeitung (die der Übertragung zwischen Prozessen zugeordnet ist) nicht vernachlässigbar ist, wird dies in einem zum Auseinanderziehen von Anforderungen verwendeten Modell berücksichtigt.

(4) Diskretisierungs- und Rundungsfehler

[0054] In der vorliegenden Ausführungsform wird ein Ablaufplanungsproblem zuvor in einem Diskretisierungsproblem formuliert. Inkremente in den Zeitfenstern werden auf der Grundlage zulässiger Rundungsfehler bestimmt. Falls z. B. für ein Problem, in dem die Einrichtungszeit zwischen zwei und drei Stunden liegt und in dem die Planungsperiode zwei Wochen (24 Stunden·14 Tage) überspannt, das Inkrement zu 30 Minuten bestimmt wird, beträgt der Rundungsfehler 15 Minuten. In diesem Fall entspricht das Problem einem Prozess der optimalen Steuerung von 2·24·14 = 672 Zeitfenstern.

(5) Aktion zum Verbessern der Auflösung eines Modells

[0055] In der typischen Ablaufplanung werden Operationen als gegebene Einheiten oder vorhandene Objekte behandelt. Allerdings entspricht dem in der vorliegenden Ausführungsform nichts. In der vorliegenden Ausführungsform ist die minimale Einheit für eine Entscheidung eine 1-0-Entscheidungsvariable, die anzeigt, ob während jedes Zeitfensters "ein Artikel verarbeitet werden soll oder nicht". Diese Entscheidungsvariable selbst ist wie ein Pixel in der digitalen Bildverarbeitung, d. h. Zahlen von 1 oder 0. Allerdings repräsentieren sie zusammen Entscheidungsmerkmale. Falls z. B. aufeinander folgende Zeitfenster für einen bestimmten Artikel und für eine bestimmte Maschinenanlage einen Wert von 1 haben, gibt dies eine Losgröße an.

<Symbole>

(1) Indizes und ihre Mengen

[0056] Zunächst sind Indizes und ihre Mengen, die in der vorliegenden Ausführungsform angewendet werden, wie folgt definiert:

i: Artikelnummer oder seine Verarbeitungsnummer, $i \in I$ (1, 2, ..., n_i), i = 0 bezeichnet einen Markt (außerhalb des Systems),
k: Maschinennummer, $k \in K$ (1, 2, ..., n_k),
t: Zeitfensternummer, $t \in T$ (1, 2, ..., n_t),
A: Menge von Halbfertigartikeln,
S(i): Menge von Artikeln, die einem Artikel i nachfolgen,
K(i): Menge von Maschinen, die den Artikel i verarbeiten können,
M(i): Menge von Artikeln, die von einer Maschine k verarbeitet werden können,
P(i): Menge von Artikeln, die dem Artikel i vorhergehen.

(2) Eingangsdaten

[0057] Nachfolgend sind voreingestellte Eingangsdaten (Produktionsdaten und angeforderte Lieferdaten),

die in der vorliegenden Ausführungsform angewendet werden, wie folgt definiert:

pi^k: Durchsatz des Artikels i in der Maschine k pro Zeitfenster,
$s_{imax}{}^k$: Einrichtungszeit für den Artikel i in der Maschine k,
$s_{i0}{}^k$: verbleibende Einrichtungszeit für den Artikel i in der Maschine k in einem Zeitfenster t = 0, d. h. ein Anfangswert,
x_{i0}: tatsächlicher Bestand des Artikels i in dem Zeitfenster t = 0; es wird angenommen, dass dieser Wert für Probleme ohne irgendwelche Bestände 0 ist,
$\delta_{i0}{}^k$: Anfangszustand des Artikels i in der Maschine k in dem Zeitfenster t = 0, d. h. ein Anfangswert,
r_{i0t}: angeforderte Lieferdaten, die einen äußeren Bedarf für den Artikel i in einem Zeitfenster t anzeigen, d. h. Artikel, die nach außerhalb des Systems abgesendet werden, wie z. B. Kundendienstteile,
ρ_{ij}: Anforderungen des Artikels i pro Einheit eines Artikels j, wobei der Artikel i in dem Artikel j enthalten ist,
c_i^k: Einrichtungsaufwand des Artikels i in der Maschine k,
h_i: Bestandslagerungsaufwand (Staffelbestandslagerungsaufwand) pro Zeitfenster für einen durch Verarbeitung des Artikels i neu hinzugefügten Wert,
r_{ijt}: Anforderungen des Artikels i, die während des Zeitfensters t zum Verarbeiten des Artikels j verwendet werden,
$r_{i\cdot t}$: Anforderungen des Artikels i im Zeitfenster t,
τ_{ij}: Vorlaufzeit für den Artikel i, bevor er in den Artikel j aufgenommen wird.

(3) Entscheidungs- und Zustandsvariable

[0058] Es werden nun Entscheidungs- und Zustandsvariable wie folgt definiert:

$\delta_{it}{}^k$: Entscheidungsvariable, die die Verarbeitung des Artikels i in der Maschine k im Zeitfenster t bezeichnet.

[0059] Falls der Artikel i in der Maschine k während des Zeitfensters t verarbeitet wird, ist $\delta_{it}{}^k$ 1. Andernfalls ist es 0.

[0060] In diesem Fall ist δ_{it} ein Vektor mit den Elementen $\delta_{it}{}^l$ und $l \in K_i$,

$\delta_i = (\delta_{i1}, ..., \delta_{it}, ...\delta_{int})$

und

$\delta = (\delta_1, ..., \delta_i, ...\delta_{ni})$.

$s_{it}{}^k$: verbleibende Einrichtungszeit für den Artikel i in der Maschine k im Zeitfenster t,

wobei

$0 \leq s_{it}{}^k \leq s_{imax}{}^k$ ist,

s_{it} ein Vektor mit den Elementen $s_{ti}{}^l$ und $l \in K(i)$ ist,

$S_i = (s_{i1}, ..., S_{it}, ... s_{int})$

und

$s = (s_1, ..., S_i, ... s_{ni})$

ist.

x_{it}: scheinbarer Bestand des Artikels i am Ende des Zeitfensters t,

[0061] Im Folgenden ist eine Definitionsgleichung für x_{it} gezeigt.

$$x_{it} = x_{i0} + \sum_{t'=1}^{t} \sum_{k \in K(i)} p_i^k \delta_{it'}^k \bar{I}\left(s_{it'}^k\right) - \sum_{t'=1}^{t} r_{i \cdot t'} \qquad (1)$$

mit

$$\bar{I}\left(s_{it}^k\right) \begin{cases} = 1, & \text{für } s_{it}^k = 0 \\ = 0, & \text{andernfalls} \end{cases}$$

[0062] Allerdings ist der scheinbare Bestand gleich dem tatsächlichen Bestand, wenn der Artikel i das Endprodukt ist.

[0063] In diesem Fall gelten die folgenden Gleichungen:

$x_i = (x_{i1}, ..., x_{it}, ..., x_{in_t})$,

$x = (x_1, ..., x_i, ..., x_{n_i})$.

[0064] In der oben beschriebenen Gleichung (1) ist x_{it} als die Summe des Anfangsbestands x_{i0}, der als der erste Term auf der rechten Seite gezeigt ist, und einer akkumulierten Menge, die durch den zweiten Term auf der rechten Seite gezeigt ist, abzüglich einer akkumulierten Menge, die durch den dritten Term auf der rechten Seite gezeigt ist, definiert. Der zweite Term auf der rechten Seite bezeichnet die Gesamtsumme des Durchsatzes des Artikels i in einem Zeitfenster t' von t' = 1 bis t' = t, d. h. den Durchsatz des Artikels i, der bis zum Ende des Zeitfensters t akkumuliert worden ist (akkumulierte Produktion). Der dritte Term auf der rechten Seite bezeichnet die Gesamtsumme der Anforderungen des Artikels i in dem Zeitfenster t' von t' = 1 bis t' = t, d. h. einen Wert, der durch Auseinanderziehen einer Außenlieferanforderung in jedem Zeitfenster vor Ende des Zeitfensters t in den Artikel i und Ansammeln der resultierenden Menge erhalten wird. Diesbezüglich ist x_{i0} für ein Halbfertigprodukt $i \in A$ ein Wert für den scheinbaren Bestand x_{it} in einem Zeitfenster t = 0, d. h. ein Anfangswert. Allerdings wird angemerkt, dass x_{i0} in Gleichung (1) einen tatsächlichen Anfangsbestand bezeichnet.

(Bedingungen)

(1) Beziehung zwischen verschiedenen Anforderungen

[0065] Die Anforderungen des Artikels j werden unter Berücksichtigung einer Vorlaufzeit für den Artikel i vor Aufnahme des Artikels i in den Artikel j in den Artikel i auseinandergezogen. In diesem Fall ist der Artikel i ein Halbfertigprodukt. Dementsprechend wird r_{ijt} unter Verwendung von ρ_{ij} sowie von $r_{j \cdot (t-\tau_{ij})}$, das die Vorlaufzeit τ_{ij} widerspiegelt, durch die im Folgenden beschriebene Gleichung (2) ausgedrückt. Ferner wird $r_{j \cdot t}$ unter Verwendung von r_{ijt} und r_{i0t} durch Gleichung (3) ausgedrückt.

$$\rho_{ij} \begin{cases} \geq 1, & \text{für } i \in A, j \in S(i) \\ = 0 & \text{andernfalls} \end{cases}$$

$$r_{ijt} = \rho_{ij} r_{j \cdot (t-\tau_{ij})} \qquad (2)$$

$$r_{i \cdot t} = \sum_{j \in S(i)} r_{ijt} + r_{i0t} \qquad (3)$$

[0066] In Gleichung (3) ist $r_{j \cdot t}$ durch die Summe einer akkumulierten Menge, die durch den ersten Term auf der rechten Seite gezeigt ist, und der Menge des Artikels, die während des Zeitfensters t nach außerhalb des Systems abgesendet wird und die durch den zweiten Term auf der rechten Seite gezeigt ist, ausgedrückt. Der erste Term auf der rechten Seite bezeichnet die Gesamtsumme der Anforderungen des Artikels i, die zur Produktion des Artikels j während des Zeitfensters t für alle in S(i) enthaltenen Artikel verwendet werden, d. h. die Menge des einem Postprozess (der Artikel j folgt auf den Artikel i) entsprechenden Artikels i, die in dem Artikel j enthalten ist.

(2) Zustandsübergang

Übergangsgleichung für die verbleibende Einrichtungszeit für die Maschine:

[0067] Wie oben beschrieben wurde, bezeichnet s_{it}^k die verbleibende Einrichtungszeit für jeden Artikel i in dem Zeitfenster t. s_{it}^k ist 0, während die Maschine (Produktionslinie) ungenutzt ist, und wird zu s_{imax}^k, wenn der Artikel gewechselt wird, d. h. wenn sich ein Verarbeitungszustand von $\delta_{it-1}^k = 0$ zu $\delta_{it}^k = 1$ ändert. Nachfolgend nimmt der Wert von s_{it}^k jedes Mal, wenn ein Zeitfenster verstrichen ist, um 1 ab, bis er 0 wird. Daraufhin behält s_{it}^k diesen Zustand, bis der Artikel erneut gewechselt wird. Folglich steht s_{it}^k in Übereinstimmung mit der folgenden Gleichung:

$$s_{it}^k = s_{i\,max}^k(1 - \delta_{it-1}^k)\delta_{it}^k + (s_{it-1}^k - 1)_+\delta_{it-1}^k\delta_{it}^k \quad , \forall(i, t, k) \tag{4}$$

wobei $(y)_+ = \max(0, y)$ ist.

[0068] Der erste Term auf der rechten Seite von Gleichung (4) gibt den Zustandsübergang der verbleibenden Einrichtungszeit an, in der er s_{imax}^k wird, wenn $\delta_{it-1}^k = 0$ zu $\delta_{it}^k = 1$ wechselt. $(s_{it-1}^k - 1)$ im zweiten Term auf der rechten Seite gibt den Zustand an, in dem s_{it}^k jedes Mal, wenn ein Zeitfenster verstrichen ist, um 1 abnimmt.

Bestandsübergangsgleichung:

[0069] Die tatsächliche Verarbeitung jedes Artikels i in dem Zeitfenster t ist auf den Zustand beschränkt, in dem $\delta_{it}^k = 1$ und $s_{it}^k = 0$ ist. Dementsprechend steht der Übergang des Bestands in Übereinstimmung mit der folgenden Gleichung:

$$x_{it} = x_{it-1} + \sum_{k \in K(i)} p_i^k \delta_{it}^k \bar{I}\left(s_{it'}^k\right) - r_{i \cdot t} \tag{5}$$

[0070] x_{it} in Gleichung (5) ist durch die Summe des scheinbaren Bestands (der erste Term auf der rechten Seite) des Artikels i am Ende eines Zeitfensters t-1 und des Durchsatzes (der zweite Term auf der rechten Seite) des Artikels i in dem Zeitfenster t, abzüglich Anforderungen $r_{i \cdot t}$ des Artikels i, ausgedrückt.

[0071] Der dritte Term auf der rechten Seite bezeichnet wieder nicht die angeforderte Menge des nachfolgenden Artikels, sondern die Anforderungen $r_{i \cdot t}$, die durch Auseinanderziehen eines Außenbedarfs erhalten werden. Folglich bezeichnet x_{it} für das Halbfertigprodukt $i \in A$ den scheinbaren Bestand am Ende des Zeitfensters t. Dagegen bezeichnet x_{it} den tatsächlichen Bestand bei t = 0. Ferner bezeichnet x_{it} außerdem den tatsächlichen Bestand für den Endartikel.

Brachzeitbedingung

[0072] Die Maschine k kann während jedes Zeitfensters höchstens einen Artikel verarbeiten. Während die Maschine k einen Artikel einrichtet oder verarbeitet, kann sie keinen anderen Artikel einrichten. Dies wird eine "Brachzeitbedingung" genannt, die erfordert, dass die folgende Gleichung aufgestellt wird:

$$\sum_{i \in M(k)} \delta_{it}^k \leq 1 \tag{6}$$

Bedingungen für das Vermeiden eines Engpasses von Artikeln (Engpassverhinderungsbedingung)

[0073] Für jeden Artikel i in jedem Zeitfenster t wird nicht zugelassen, dass er ausgeht. Dies wird eine "Nichtnegativitätsbedingung für den Bestand" genannt. Für den Endartikel repräsentiert der scheinbare Bestand ebenfalls den tatsächlichen Bestand. Somit wird die Nichtnegativitätsbedingung für den Bestand explizit in einem Suboptimierungsproblem behandelt. Allerdings muss für einen Halbfertigproduktartikel ein tatsächlicher Halbfertigartikel formuliert werden und für diese Formel eine Nichtnegativitätsbedingung eingestellt werden.

[0074] Der Halbfertigbestand des Artikels i während des Zeitfensters t entspricht einer Menge, die gleich der Summe des Anfangsbestands x_{i0} und der akkumulierten Produktion, abzüglich des akkumulierten Betrags abgesendeter Artikel, ist. Allerdings muss zuvor von dem Bestand die Menge r_{i0t} der direkt nach außen versendeten Artikel subtrahiert werden. Dementsprechend drückt die folgende Gleichung die Nichtnegativitätsbedingung für den Halbfertigbestand des Artikels i während des Zeitfensters t aus:

$$x_{i0} + \sum_{t'=1}^{t} \left(\sum_{k \in K(i)} p_i^k \delta_{it'}^k \bar{I}\left(s_{it'}^k\right) - r_{i0t'} \right) - \sum_{t'=1}^{t} \sum_{j \in S(i)} \rho_{ij} \sum_{k \in K(j)} p_j^k \delta_{jt'}^k \bar{I}\left(s_{jt'}^k\right) \geq 0 \qquad (7)$$

[0075] Der zweite Term auf der linken Seite von Gleichung (7) bezeichnet den vor dem Ende des Zeitfensters t akkumulierten Durchsatz des Artikels i, der gleich dem Durchsatz des Artikels i in jedem Zeitfenster ist, von dem die Menge der direkt nach außen gelieferten Artikel i subtrahiert worden ist, d. h. der zweite Term bezeichnet die akkumulierte Produktion. Der dritte Term auf der linken Seite bezeichnet die Menge der abgesendeten Artikel, die vor Ende des Zeitfensters t akkumuliert worden sind.

[0076] Falls der Artikel ein Endprodukt ist, besteht die linke Seite von Gleichung (7) nur aus dem ersten und aus dem zweiten Term. Wenn die Definitionsgleichung (1) für den scheinbaren Bestand in die Bedingungsgleichung (7) eingesetzt wird und die resultierende Gleichung daraufhin umgestellt wird, ist die folgende Gleichung gegeben:

$$\sum_{j \in S(i)} \rho_{ij} \left(x_{jt} - x_{j0}\right) - \sum_{t'=1}^{t} \left(r_{i \cdot t'} - r_{i0t'} - \sum_{j \in S(i)} \rho_{ij} r_{j \cdot t'} \right) - x_{it} \leq 0 \qquad (8)$$

[0077] Falls die Vorlaufzeit $\tau_{ij} = 0$ ist, wird daraufhin der zweite Term auf der linken Seite 0 und verschwindet aus den Gleichungen (2) und (3).

Bedingung zu der Anzahl verfügbarer Maschinen

[0078] Höchstens c Maschinen können gleichzeitig verwendet werden. Dementsprechend muss die folgende Gleichung aufgestellt werden:

$$\sum_{k \in K(i)} \delta_{it}^k \leq c \qquad (9)$$

<Aufwand>

[0079] Zwei Arten von Aufwänden beziehen sich auf Ablaufplanungsprobleme. Einer von ihnen ist der Einrichtungsaufwand c_i^k, der auftritt, wenn die Maschine k auf die Verarbeitung des Artikels i gewechselt wird. Der andere ist der Staffelbestandslagerungsaufwand h_i, der proportional zum scheinbaren Aufwand x_{it} am Ende jedes Zeitfensters t auftritt. Diese Aufwände werden durch $c_i^k (1 - \delta_{it-1}^k) \delta_{it}^k$ und $h_i x_{it}$ bezeichnet. Wenn der Aufwand des Artikels i in dem Zeitfenster t als $f_i(\delta_i, s_i, x_i)$ bezeichnet wird, wird folglich der Aufwand $f_i(\delta_i, s_i, x_i)$, d. h. eine Aufwandsfunktion für den Artikel i, durch Gleichung (10) ausgedrückt:

$$f_i(\delta_i, s_i, x_i) = \sum_{t \in T} \left(\sum_{k \in K(i)} c_i^k \left(1 - \delta_{it-1}^k\right) \delta_{it}^k + h_i x_{it} \right) \quad (10)$$

[0080] Hier wird angemerkt, dass der Aufwand in dem Zeitfenster t außerdem von der Entscheidungsvariablen $\delta_{it-1}{}^k$ für das Zeitfenster t-1 abhängt.

<Problem>

[0081] Wie oben beschrieben wurde, entspricht das zu behandelnde Optimierungsproblem schließlich der Minimierung eines Funktionswerts, der die Gesamtsumme des Aufwands $f_i(\delta_i, s_i, x_i)$ in Gleichung (10) anzeigt, d. h. eines Werts für eine Zielfunktion, für alle Artikel unter spezifizierten Bedingungen. Somit wird das Optimierungsproblem wie folgt formuliert:

$$\min_{\delta} \quad \sum_{i \in I} f_i(\delta_i, s_i, x_i) \quad (11)$$
$$\text{s.t.} \quad (4), (5), (6), (8), (9)$$

[0082] In Gleichung (11) zeigt s. t. (4), (5), (6), (8) und (9) an, dass das zu behandelnde Problem unter den Bedingungen in den Gleichungen (4), (5), (6), (8) und (9) steht. Die Bedingung in Gleichung (4) beruht auf der Übergangsgleichung für die verbleibende Einrichtungszeit der Maschine. Die Bedingung in Gleichung (5) beruht auf der für den scheinbaren Bestand definierten Übergangsgleichung für den Bestand. Die Bedingung in Gleichung (6) bezieht sich auf die Brachzeit. Die Bedingung in Gleichung (8) wird gestellt, um einen Engpass des tatsächlichen Bestands an Halbfertigprodukten zu vermeiden, d. h., diese Bedingung beruht auf der Nichtnegativitätsbedingungsgleichung für den tatsächlichen Bestand an Halbfertigprodukten. Die Bedingung in Gleichung (9) bezieht sich auf die Anzahl verfügbarer Maschinen.

<<Lösung auf der Grundlage des Lagrange-Zerlegungskoordinierungsverfahrens>>

<Behandlung mit Bedingungsgleichungen>

[0083] Dieses Problem bezieht sich auf die Gleichungen (2), (3), (4), (5), (6), (8) und (9) als Bedingungsvoraussetzungen. Es wird angemerkt, dass diese Bedingungen mit der hier vorgeschlagenen Lösung je nachdem, wie sie behandelt werden, grob in zwei Typen klassifiziert werden. Ein erster Typ enthält Bedingungsvoraussetzungen, die in Unterprogrammen enthalten sind und explizit behandelt werden, wenn die einzelnen Unterprobleme gelöst werden. Ein zweiter Typ enthält Bedingungen, die sich auf mehrere Unterprobleme als Interaktionsbedingungen beziehen.

[0084] Die Gleichungen (2) und (3) drücken jeweils die Beziehung zwischen Eingangsdaten aus und gehören somit in keine dieser Kategorien. Die Gleichungen (4) und (5) sind Übergangsgleichungen und sind spezifisch für jeden Artikel. Somit sind die Gleichungen (4) und (5) wesentlich bei der Lösung eines Unterproblems für jeden Artikel auf der Grundlage der dynamischen Programmierung. Folglich gehören diese Bedingungsgleichungen zum ersten Typ. Die Bedingungsgleichung (9) für die Anzahl gleichzeitig verfügbarer Maschinen (zu einem Zeitpunkt) ist ebenfalls spezifisch für jeden Artikel. Somit gehört Gleichung (9) ebenfalls zu dem ersten Typ und wird ebenfalls in Unterproblemen behandelt.

[0085] Allerdings bezieht sich Gleichung (6) für die Brachzeit auf mehrere Artikel. Somit gehört Gleichung (6) zu dem zweiten Typ, der die Brachbedingungen enthält. Nachfolgend muss auf die Bedingungsvoraussetzung (8) geachtet werden, die gestellt wird, um einen Engpass von Artikeln zu vermeiden. Das heißt, falls der Artikel ein Endprodukt ist, ist der dritte Term auf der linken Seite von Gleichung (7) irrelevant, wobei die Unabhängigkeit der Verarbeitung bereits hergestellt ist. In diesem Fall kann die Nichtnegativitätsbedingung zu dem Bestand explizit in Unterprogrammen behandelt werden. Falls der Artikel dagegen ein Halbfertigprodukt ist, ist der obige dritte Term relevant. Somit ist die Unabhängigkeit der Verarbeitung beeinträchtigt. In diesem Fall kann die Nichtnegativitätsbedingung für den Bestand aus dem bereits in dem Grundprinzip der Optimierungsablaufplanung beschriebenen Grund nicht in irgendwelchen Unterprogrammen behandelt werden. Somit wird Gleichung (8) in der vorliegenden Ausführungsform als eine Interaktionsbedingung behandelt, die zu dem

zweiten Typ gehört, um die Konsistenz der Verarbeitung sicherzustellen.

<Lagrange-Funktionen>

[0086] Die in der folgenden Gleichung gezeigten Lagrange-Funktionen werden durch Lockern der Interaktionsbedingungen, d. h. der Brachzeitbedingung (6) und der Nichtnegativitätsbedingung (8) für den Bestand an Halbfertigprodukten, abgeleitet.

$$L(\mu, \lambda, \delta, s, x) = \sum_{i \in I} f_i(\delta_i, s_i, x_i) + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \mu_t^k \left(\sum_{i \in M(k)} \delta_{it}^k - 1 \right) + \sum_{t \in T} \sum_{i \in A} \lambda_{it} \left(\sum_{j \in S(i)} \rho_{ij} (x_{jt} - x_{j0}) - \sum_{t'=1}^{t} \left(r_{i \cdot t'} - r_{i0t'} - \sum_{j \in S(i)} \rho_{ij} r_{j \cdot t'} \right) - x_{it} \right) \quad (12)$$

[0087] In dieser Gleichung bezeichnen μ_t^k und λ_{it} Lagrange-Multiplikatoren, die den Strafaufwand (Liniengebühren) anzeigen, der der Brachbedingungsvoraussetzung (6) bzw. der Nichtnegativitätsbedingung (8) für den Bestand an Halbfertigprodukten entspricht. In diesem Fall ist μ_t ein Vektor mit den Elementen μ_t^l und $l \in K(i)$, wobei $\mu = (\mu_1, ..., \mu_t, ..., \mu_{nt})$ ist. λ_i ist gleichfalls ein Vektor. $\lambda_i = (\lambda_{i1}, \lambda_{int})$ und $\lambda = (\lambda_1, ..., \lambda_i, ..., \lambda_{nt})$.

<Langrange-Problem>

[0088] Am Ende ist das in Gleichung (11) oben beschriebene Problem, auf das sich die Gleichungen (2), (3), (5), (6), (8) und (9) beziehen, äquivalent dem oben beschriebenen Langrange-Problem, das in Gleichung (13) gezeigt ist. Von den Bedingungsvoraussetzungen (2), (3), (4), (5), (6), (8) und (9), die sich auf Gleichung (11) beziehen, werden Gleichung (13) die Bedingungsvoraussetzungen (4), (5) und (9) auferlegt.

$$\max_{u,\lambda} \min_{\delta} \; L(\mu, \lambda, \delta, s, x) \quad \text{st.} \; (4), (5), (9) \quad (13)$$

[0089] Um hier das Problem in Artikel zu zerlegen, wird Gleichung (12) zunächst nach dem Artikel i umgestellt. Daraufhin wird die folgende Langrange-Funktion abgeleitet:

$$L_i(\mu, \lambda_i, \delta_i, s_i, x_i) = f_i(\delta_i, s_i, x_i) + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K(i)} \mu_t^k \delta_{it}^k - \sum_{t \in T} \left(\lambda_{it}^{a(i)} - \sum_{j \in P(i)} \lambda_{jt} \rho_{ji} \right) x_{it} \quad (14)$$

[0090] Falls hier, sofern a(i) als 1 ausgedrückt ist, dem Artikel i ein weiterer Artikel vorausgeht (d. h., falls der Artikel i als ein Halbfertigprodukt verwendet werden kann) und er ansonsten als 0 ausgedrückt wird, kann Gleichung (14) wie folgt ausgedrückt werden:

$$L(\mu, \lambda, \delta, s, x) = \sum_{i \in I} L_i(\mu, \lambda_i, \delta_i, s_i, x_i) - \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \mu_t^k - \sum_{t \in T} \sum_{i \in A} \lambda_{it} \left(\sum_{j \in S(i)} \rho_{ij} x_{j0} + \sum_{t'=1}^{t} \left(r_{i,t'} - r_{i0t'} - \sum_{j \in S(i)} \rho_{ij} r_{j,t'} \right) \right) \quad (15)$$

<Suboptimierungsproblem>

[0091] Auf der Grundlage von Gleichung (15) kann das durch Gleichung (11) ausgedrückte Problem für ein gegebenes μ und λ in die folgenden Subprobleme (Suboptimierungsprobleme) zerlegt werden:

$$\begin{aligned} &\min_{\delta_i} && L_i(\mu, \lambda_i, \delta_i, s_i, x_i) \\ &\text{s.t.} && (4), (5), (9) \end{aligned} \quad (16)$$

[0092] Für das gegebene μ und λ kann das durch Gleichung (16) gezeigte Suboptimierungsproblem für den Artikel i unabhängig von den anderen Artikeln gelöst werden. Diese Lösung wird später beschrieben.

<Koordinierung von Lagrange-Multiplikatoren>

[0093] In der vorliegenden Ausführungsform werden zwei Typen von Lagrange-Multiplikatoren, μ_t^k und λ_{it}, verwendet. Somit erfordert die Aktualisierung der Lagrange-Multiplikatoren während der v-ten wiederholten Berechnung Aktualisierungsvorschriften für die Lagrange-Funktion, die zum Beseitigen einer Brachzeit verwendet wird, und für die Lagrange-Funktion, die zum Erhalten eines ausreichenden Bestands an Halbfertigprodukten verwendet wird.

Aktualisierungsvorschrift für den zum Beseitigen einer mechanischen Brachzeit verwendeten Lagrange-Multiplikator:

[0094] Die im Folgenden gezeigte Gleichung gibt die Aktualisierungsvorschrift für den zum Beseitigen der mechanischen Brachzeit verwendeten Lagrange-Multiplikator an.

$$\mu_t^{k\upsilon} = \mu_t^{k\upsilon-1} + \max\left\{0, \alpha\left(\sum_{i \in M(k)} \delta_{it}^{kv} - 1\right)\right\} \quad (17)$$

[0095] Aktualisierungsvorschriften für die Lagrange-Funktion, die zum Erhalten eines ausreichenden Bestands an Halbfertigprodukten verwendet werden:
Die im Folgenden gezeigte Gleichung gibt die Aktualisierungsvorschriften für die zum Erhalten eines ausreichenden Bestands an Halbfertigprodukten verwendete Lagrange-Funktion an.

$$\lambda_{it}^{\upsilon} = \lambda_{it}^{\upsilon-1} + \max\left\{0, \beta\left(\sum_{j\in S(i)} \rho_{ij}\left(x_{jt}^{\nu} - x_{j0}\right) - \sum_{t'=1}^{t}\left(r_{i\cdot t'} - r_{i0t'} - \sum_{j\in S(i)} \rho_{ij} r_{j\cdot t'}\right) - x_{it}^{\nu}\right)\right\} \quad (18)$$

[0096] In Gleichung (18) bezeichnen α und β skalare Schrittweiten. Die Werte für α und β werden mit der empirisch-praktischen Methode zahlenmäßig bestimmt. In diesem Fall können α und β von k (Maschine) bzw. i (Artikel) abhängen.

<<Dynamische Programmierung für das Suboptimierungsproble>>

[0097] Es wird nun eine Beschreibung eines Verfahrens zum Lösen des durch Gleichung (16) gezeigten Suboptimierungsproblems durch dessen Umformulieren in eine dynamische Programmierung gegeben.

<Zulässige Zustände>

[0098] Die Entscheidung δ_{it}^{k}, die während des Zeitfensters t zulässig ist, hängt nicht nur von dem Bestandszustand x in dem vorherigen Zeitfenster t-1 ab. Das heißt, δ_{it}^{k} hängt ebenfalls von den Zuständen aller während des vorherigen Zeitfensters t-1 verfügbaren Maschinen und von der verbleibenden Einrichtungszeit s_{it-1}^{k} in dem Zeitfenster t ab. Fig. 5 zeigt schematisch die in einem Zustandsübergang von (δ_{it-1}^{k}, s_{it-1}^{k}) zu (δ_{it}^{k}, s_{it}^{k}) beobachtete Beziehung. Die Kreise in der Figur zeigen an, dass Entscheidungen vorhanden sind, die in Verbindung mit dem Zustand in dem Zeitfenster t-1 zulässig sind. Die Kreuze in der Figur zeigen an, dass keine solchen Entscheidungen vorhanden sind.

[0099] Fig. 6 zeigt einen Zustandsübergang in diesen (δit^{k}, sit^{k}). In Fig. 6 kann sich ein Zustand (0, 0) **61** in einem zulässigen Übergang während des nächsten Zeitfensters entweder in denselben Zustand **61** oder in einen Zustand (1, s_{imax}^{k}) **62** verschieben. Der Zustand **61** gibt an, dass die Maschine k ungenutzt ist. Ferner gibt der Zustand **62** den Zeitpunkt, zu dem der Artikel gewechselt wird, d. h. den Beginn der Einrichtung, an. in einem zulässigen Übergang kann der Zustand **62**, d. h. der Zustand (1, s_{imax}^{k}) **62**, während des nächsten Zeitfensters nur in einen Zustand (1, $s_{imax}^{k} - 1$) **63** verschoben werden.

[0100] Der Zustand **63** gibt an, dass seit Beginn der Einrichtung ein Zeitfenster verstrichen ist und dass die verbleibende Einrichtungszeit $s_{imax}^{k} - 1$ ist. Ähnlich verringert sich nachfolgend jedes Mal, wenn ein Zeitfenster verstreicht, nur s_{it}^{k} von (δ_{it}^{k}, s_{it}^{k}) um 1, während δ_{it}^{k} 1 bleibt. Daraufhin wird (δ_{it}^{k}, s_{it}^{k}) in einen Zustand (1, 1) **64** verschoben. Der Zustand **64** gibt an, dass die verbleibende Einrichtungszeit 1 ist (was einem Zeitfenster entspricht) und dass die Einrichtungsoperation fast abgeschlossen ist. Die Zeit vom Zustand **62** bis zum Zustand **64** entspricht einer Einrichtungszeitdauer **65**. In einem zulässigen Übergang kann der Zustand **64**, d. h. der Zustand (1, 1) **64**, nur in einen Zustand (1, 0) **66** verschoben werden. Der Zustand (Periode) **65** gibt an, dass die Produktion im Gang ist. In einem zulässigen Übergang kann ein Zustand **66**, d. h. ein Zustand (1, 0) **66**, entweder in den Zustand **66** oder in den Zustand (0, 0) **61** verschoben werden.

<Optimale Aufwandsfunktion und ihre Berechnung>

[0101] Es wird nun eine Beschreibung einer optimalen Aufwandsfunktion und ihrer Berechnung gegeben. In der vorliegenden Ausführungsform wird die optimale Aufwandsfunktion für gegebene Lagrange-Funktionen μ und λ als $V_t(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ ausgedrückt. Diese optimale Aufwandsfunktion V_t ist als die Summe der Aufwände definiert, die in Verbindung mit optimalen Entscheidungen auftreten, die während der Zeitfenster 0 bis t getroffen werden. Während des Zeitfensters t werden für den Artikel i eine Entscheidungsvariable (ein Maschineneinstellzustand), die verbleibende Einrichtungszeit und der Bestandszustand (der Bestand am Ende des Zeitfensters) in dieser Bestellung als δ_{it}, s_{it} und x_{it} definiert.

[0102] Wichtig ist, dass die optimale Aufwandsfunktion als der Vektor einer Zustandsvariablen den Vektor b_{it} der Entscheidungsvariablen sowie den Vektor s_{it} und die Variable x_{it} enthält. Das heißt, die Entscheidungsvariable δ_{it} spielt ebenfalls die Rolle der Zustandsvariablen. Dies ist der Abhängigkeit eines Einrichtungsaufwands, der während des Zeitfensters t auftritt, von der Entscheidung in dem Zeitfenster t-1 zuzuschreiben. Mit anderen Worten, zum Berechnen des während des Zeitfensters t auftretenden Aufwands sind Informationen über das vorherige Zeitfenster t-1 erforderlich. In diesem Fall kann die optimale Aufwandsfunktion durch einen Rekursivbeziehungsausdruck auf der Grundlage der dynamischen Programmierung ausgedrückt werden.

$$V_0(\delta_{i0}, s_{i0}, x_{i0}, \mu, \lambda_i) = \begin{cases} 0, (\text{für gegebenes} \delta_{i0}, x_{i0}, \text{und } s_{i0}) \\ +\infty, \ (\text{andernfalls}) \end{cases} \tag{19}$$

$$\text{Für } \forall t \in T, \ \text{mit } 0 \le x_{it-1} \le x_{imax},$$

$$V_t(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i) = \min_{\delta_{it-1}, s_{it-1}} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{k \in K(i)} c_{it}^k (1 - \delta_{it-1}^k) \delta_{it}^k + h_i x_{it} \\ + \sum_{k \in K(i)} \mu_t^k \delta_{it}^k + (\lambda_{it} a(i) - \sum_{j \in P(i)} \lambda_{jt} \rho_{ji}) x_{it} \\ + V_{t-1}(\delta_{it-1}, s_{it-1}, x_{it-1}, \mu, \lambda_i) \end{array} \right\} \tag{20}$$

[0103] Wenn hier x_{it-1} nicht innerhalb eines zulässigen Bereichs liegt, ist $V_t(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ für beliebige δ_{it-1}^k und s_{it-1}^k immer $+\infty$. In diesem Fall wird angenommen, dass $\delta_{it-1}^*(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ in Gleichung (20) die optimale Entscheidung bezeichnet.

[0104] Falls $s_{it}^l = 0$ ist ($l \in K(i)$), wird ein Wert für die optimale Aufwandsfunktion in dem Zeitfenster t-1 dadurch bestimmt, dass auf der Grundlage der zuvor beschriebenen Gleichungen (4) und (5) für gegebenes δ_{it}^l, s_{it}^l ($l \in K(i)$), x_{it}, μ und λ_i, und für die ausgewählte Entscheidung δ_{it-1}^l ($l \in K(i)$) gefunden werden. Falls dagegen $s_{it}^l = 0$ ist, ist es unmöglich zu bestimmen, ob der Zustand von s_{it-1}^l in dem Zeitfenster t-1, der sich zu dem Zustand $s_{it}^1 = 0$ verschiebt, 0 oder 1 ist. Um dies zu behandeln, wird der in der oben beschriebenen Gleichung (20) gezeigte Minimalwert (min) somit nicht nur für δ_{it-1}, sondern auch für s_{it-1} verwendet. Andererseits sind alle während des Zeitfensters t auftretenden Aufwände bestimmt worden. Folglich kann die oben beschriebene Gleichung (20) berechnet werden.

<Entscheidung der optimalen Lösung>

[0105] Es wird nun angenommen, dass für den Artikel i der optimale Aufwandsfunktionswert $V_t(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ und die optimale Entscheidung, d. h. $\delta_{it-1}^*(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ für jedes Zeitfenster t ($t = 1, ..., n_t$), bestimmt worden ist. Ferner wird angenommen, dass $V_t(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ und $\delta_{it-1}^*(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ für den Artikel i im Zeitfenster in Tabellenform in einem Speicher (in diesem Fall in einem Aufwandsablagebereich **223**) gespeichert worden ist. Darüber hinaus wird angenommen, dass für $s_{it-1}^l = 0$ ($l \in K(i)$) die optimale verbleibende Einrichtungszeit $s_{it-1}^*(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ ähnlich im Speicher gespeichert worden ist. Anhand des Ablaufdiagramms in **Fig. 4** wird eine Beschreibung einer Prozedur des Auffindens der optimalen Lösung für den Artikel in diesem Fall, d. h. der Bestimmung eines Ablaufplans und eines Zustandsübergangs, gegeben.

[0106] Zunächst wird eine von allen während des Zeitfensters $t = n_t$ zulässigen Kombinationen ($\delta_{it}, s_{it}, x_{it}$) von δ_{it}, s_{it} und x_{it} bestimmt, die den Wert für $V_t(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ minimiert. Daraufhin wird diese Kombination $\delta_{it}, s_{it}, x_{it}$ als die optimale Lösung bestimmt (Schritte **405** und **406**). Diese optimale Lösung $\delta_{it}, s_{it}, x_{it}$ wird als $\delta_{it}^*, s_{it}^*, x_{it}^*$ eingestellt. Daraufhin wird die optimale Entscheidung $\delta_{it-1}^*(\delta_{it}^*, s_{it}^*, x_{it}^*)$ für $\delta_{it}^*, s_{it}^*, x_{it}^*$ identifiziert (Schritt **407**). Die Kombination $\delta_{it}^*, s_{it}^*, x_{it}^*$ wird in die zuvor beschriebenen Gleichungen (4) und (5) eingesetzt, um s_{it-1}^* und x_{it-1}^* zu bestimmen (Schritt **408**). Außerdem ist es möglich, aus $\delta_{it}^*, s_{it}^*, x_{it}^*$ und $\delta_{it-1}^*(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ für den Artikel i in jedem Zeitfenster, der in dem Aufwandsablagebereich **223** in Tabellenform gespeichert ist, s_{it-1}^* und x_{it-1}^* zu bestimmen.

[0107] Daraufhin wird t um 1 dekrementiert (Schritt **409**). Falls das dekrementierte t nicht kleiner als 1 ist (Schritt **410**) werden der Schritt **406** und die nachfolgenden Prozessschritte an diesem Wert ausgeführt. Diese Operation wird wiederholt, bis t = 1 ist (Schritt **410**).

[0108] Somit ist eine Beschreibung des Grundprinzips der in der vorliegenden Ausführungsform angewendeten Optimierungsablaufplanung, der Einzelheiten der Formulierung in dem Grundprinzip, der Lösung auf der Grundlage des Lagrange-Zerlegungskoordinierungsverfahrens und der dynamischen Programmierung für Suboptimierungsprobleme gegeben worden.

<Implementierung der Optimierungsablaufplanung>

[0109] Es wird nun eine Implementierung der oben beschriebenen Optimierungsablaufplanung beschrieben. Die Vorrichtung zur Ablaufplanung in Fig. 1 führt die oben beschriebene Optimierungsablaufplanung durch Anwenden ihres Grundprinzips aus. Somit umfasst die Vorrichtung zur Ablaufplanung einen Optimierungsabschnitt **11**, einen Bestandsauskopplungsabschnitt **12**, einen Abschnitt **13** zum Auskoppeln der verbleibenden Einrichtungszeit, einen Brachzeitbestimmungsabschnitt **14**, einen Brachzeitsteuerabschnitt **15**, einen Ablaufplanerstellungsabschnitt **16**, einen Hauptsteuerabschnitt **17**, einen Hinlänglichkeitsbestimmungsabschnitt **18** und einen Bestandssteuerabschnitt **19**. Diese Abschnitte **11** bis **19** sind Funktionselemente, die durch die CPU **21** in dem Computer in Fig. 2 durch Ausführen des Optimierungsablaufplanungsprogramms **241** implementiert werden.

[0110] Der Optimierungsabschnitt **11** führt für jeden Artikel i unabhängig von den anderen Artikeln eine Operation des Lösens des Suboptimierungsproblems in Gleichung (16) aus, um die Lösung zu finden. In diesem Fall verwendet der Optimierungsabschnitt **11** die optimale Aufwandsfunktion in Gleichung (20), um das Suboptimierungsproblem unter den Bedingungen an die Übergänge des Bestands und der verbleibenden Einrichtungszeit zu lösen. Der Bestandsauskopplungsabschnitt **12** koppelt den für den Betrieb des Optimierungsabschnitts **11** erforderlichen Bestand aus. Der Abschnitt **13** zum Auskoppeln der verbleibenden Einrichtungszeit koppelt die verbleibende Einrichtungszeit aus, die für den Betrieb des Optimierungsabschnitts **11** erforderlich ist.

[0111] Der Brachzeitbestimmungsabschnitt **14** bestimmt auf der Grundlage der durch den Optimierungsabschnitt **11** gefundenen Lösung für jeden Artikel i, ob eine Brachzeit als beseitigt betrachtet wird oder nicht. Falls die Brachzeit nicht beseitigt worden ist, steuert der Brachzeitsteuerabschnitt **15** den Optimierungsabschnitt **11** in der Weise, dass die Größe der Brachzeit verringert wird. Schließlich aktualisiert der Brachzeitsteuerabschnitt **15** den von dem Optimierungsabschnitt **11** verwendeten Lagrange-Multiplikator (μ_t^k) in der optimalen Aufwandsfunktion, wobei der Multiplikator (μ_t^k) zum Steuern (Koordinieren) der Brachzeit erforderlich ist.

[0112] Der Hinlänglichkeitsbestimmungsabschnitt **18** bestimmt auf der Grundlage der durch den Optimierungsabschnitt **11** gefundenen Lösung für den Artikel i, ob der Bestand an Halbfertigprodukten ausreicht oder nicht. Falls der Bestand an Halbfertigprodukten nicht ausreicht, d. h. ausgeht, steuert der Bestandssteuerabschnitt **19** den Optimierungsabschnitt **11** so, dass der Bestand an Halbfertigprodukten hinlänglich gemacht wird. Genauer aktualisiert der Bestandssteuerabschnitt **19** den Lagrange-Multiplikator (λ_{it}) in der optimalen Aufwandsfunktion, die von dem Optimierungsabschnitt **11** verwendet wird, wobei der Multiplikator (λ_{it}) zum Steuern (Koordinieren) der Hinlänglichkeit des Halbfertigprodukts erforderlich ist.

[0113] Falls bestimmt wird, dass die Brachzeit und ein Engpass des Bestands an Halbfertigprodukten beseitigt worden sind, verwendet der Ablaufplanerstellungsabschnitt **16** die bereits gefundene Lösung, um einen Produktionsablaufplan zu erzeugen. Der Hauptsteuerabschnitt **17** steuert die gesamte Vorrichtung zur Ablaufplanung.

[0114] Der Hauptspeicher **22** ist mit einem Produktionsdatenablagebereich **221**, mit einem Ablagebereich **222** für erforderliche Lieferung und mit einem Aufwandsablagebereich **223** versehen. Der Bereich **221** wird zum Speichern von Produktionsdaten verwendet. Die Produktionsdaten enthalten die Daten p_i^k, $S_{imax}{}^k$, $s_{i0}{}^k$, $\delta_{i0}{}^k$ und c_i^k für jeden Artikel i und für jede Maschine k, die Daten x_{i0}, ρ_{ij}), h_i und τ_{ij} für jeden Artikel i und die Daten r_{ijt} und $r_{i\cdot t}$ für jeden Artikel i in jedem Zeitfenster t. Der Bereich **222** wird verwendet, um angeforderte Lieferdaten zu speichern. Die angeforderten Lieferdaten enthalten für jeden Artikel i in jedem Zeitfenster t r_{i0t}. Der Bereich **223** wird verwendet, um die durch den Optimierungsabschnitt **11** berechnete Summe der Aufwände $V_t(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ für eine Zeitdauer, die mit dem Zeitfenster t endet, und $f_{it}{}^*$, $s_{it}{}^*$ und $x_{it}{}^*$, die der Summe der Aufwände $V_t(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ entsprechen, in Tabellenform zu speichern. In diesem Fall kann ein Bereich zum Speichern von $\delta_{it}{}^*$, $s_{it}{}^*$ und $x_{it}{}^*$ getrennt vorgesehen sein.

[0115] Ferner ist der Hauptspeicher **22** mit einem Zwischenergebnis-Ablagebereich **224**, mit einem Endergebnis-Ablagebereich **225** und mit einem Ablaufplan-Ablagebereich **226** versehen. Der Bereich **224** wird zum Speichern der Zwischenergebnisse von Lösungen zu durch den Optimierungsabschnitt **11** erhaltenen optimalen Unterproblemen verwendet. Der Bereich **225** wird zum Speichern der Endergebnisse von Lösungen zu optimalen Unterproblemen, die durch den Optimierungsabschnitt **11** erhalten werden, verwendet. Der Bereich **226** wird zum Speichern eines durch den Ablaufplanerstellungsabschnitt **16** erzeugten Produktionsablaufplans verwendet.

[0116] Anhand des Ablaufdiagramms in Fig. 3 werden nun Operationen der Konfiguration in Fig. 1 beschrieben. Um unter Verwendung der Vorrichtung zur Ablaufplanung in Fig. 1 einen optimalen Produktionsablaufplan zu erstellen, ist es zunächst notwendig, zuvor Produktionsdaten einzugeben, die für jeden Artikel i und für jede Maschine k die Daten p_i^k, $s_{imax}{}^k$, $s_{i0}{}^k$, $\delta_{i0}{}^k$ und c_i^k, für jeden Artikel die Daten x_{i0}, ρ_{ij}, h_i und τ_{ij} und für jeden Artikel i in jedem Zeitfenster t die Daten r_{ijt} und $r_{i\text{-}t}$ enthalten. In diesem Fall werden die Produktionsdaten z. B. durch einen Betreiber durch Betätigen der Tastatur **25** in Tabellenform eingegeben. Die Produktionsdaten können über eine Kommunikationsleitung extern eingegeben werden.

[0117] Die Eingangsproduktionsdaten werden unter der Steuerung des Hauptsteuerabschnitts **17** in dem Produktionsdaten-Ablagebereich **221** in dem Hauptspeicher gespeichert. Die in dem Bereich **221** gespeicherten Produktionsdaten werden zur Wiederverwendung in dem HDD **23** gesichert. Ferner werden jedes Mal, wenn es notwendig wird, einen Produktionsablaufplan zu erzeugen, angeforderte Lieferdaten, die für jeden Artikel i in dem spezifizierten Zeitfenster t r_{i0t} enthalten, eingegeben und in dem Ablagebereich **222** für angeforderte Lieferung in dem Hauptspeicher **22** gespeichert.

[0118] In diesem Fall wird angenommen, dass die Planungsperiode zwei Wochen ist und dass die Produktion sieben Stunden täglich in drei Schichten ausgeführt wird. Ferner wird angenommen, dass die Zeitfensterbreite bei 30 Minuten eingestellt ist. In diesem Fall ist die Anzahl T der in der gesamten Planungsperiode enthaltenen Zeitfenster **588**. Das heißt, in der vorliegenden Ausführungsform veranlasst die Eingabe angeforderter Lieferdaten, dass in der Planungsperiode **588** Zeitfenster in 30-Minuten-Inkrementen eingestellt werden. Durch Verringern dieses Inkrements, d. h. einer Zeitfensterzeitdauer, kann eine Auflösung für ein Optimierungsproblem (mathematisches Modell) erhöht werden. Die Berechnungen tragen lediglich zur ersten Ordnung der Anzahl der Inkremente (der Anzahl der Zeitfenster) bei. Dementsprechend sollte der Betreiber nicht zu sehr fürchten, das Inkrement zu verringern. Das heißt, selbst dann, wenn das Inkrement auf die Hälfte verringert wird, verdoppelt sich die Rechenzeit lediglich. Natürlich braucht das Inkrement nicht wesentlich verringert zu werden. Sofern das Inkrement in dem Umfang verringert wird, dass Rundungsfehler vernachlässigbar sind, werden keine praktischen Probleme erzeugt.

[0119] Wenn in diesem Zustand von der Tastatur **25** eine Anweisung zum Start der Ablaufplanung eingegeben wird, führt der Hauptsteuerabschnitt **17** einen Initialisierungsprozess aus. Während des Initialisierungsprozesses wird die Anzahl der Wiederholungen (Wiederholungszahl) v bei einem Anfangswert 0 eingestellt (Schritt **301**). Ferner werden die Entscheidungsvariablen δ_{it}^{kv} und s_{it}^{kv} für jeden Artikel i ($i \in 1$ (1, 2, ..., n_i)), für jedes Zeitfenster t ($t \in T$ (1, 2, ..., n_t)) und für jede Maschine k ($k \in K$ (1, 2, ..., n_k)) auf 0 eingestellt (Schritt **302**). Darüber hinaus wird der Lagrange-Multiplikator μ_t^{kv} für jedes Zeitfenster t ($t \in T$ (1, 2, ..., n_t)) und für jede Maschine ($k \in K$ (1, 2, ..., n_k)) auf 0 eingestellt (Schritt **303**). In Schritt **303** wird der Lagrange-Multiplikator λ_t^v für jedes Zeitfenster t ($t \in T$ (1, 2, ..., n_t)) ebenfalls auf 0 eingestellt.

[0120] Nach Ausführung der Schritte **301** bis **303** aktiviert der Hauptsteuerabschnitt **17** den Optimierungsabschnitt **11**. Zunächst initialisiert der Optimierungsabschnitt **11** den Artikel i auf 1 (Schritt **304**). Daraufhin löst der Optimierungsabschnitt **11** unter den Bedingungen der Übergangsgleichung (4) für die verbleibende Einrichtungszeit und der Bestandsübergangsgleichung (5) das in Gleichung (16) gezeigte Suboptimierungsproblem für den Artikel i (Schritt **305**). In diesem Fall wird die optimale Aufwandsfunktion in Gleichung (20) zum Lösen des Suboptimierungsproblems verwendet. Ferner wird im Ergebnis der Lösung des Suboptimierungsproblems die Lösung δ_{it}^{kv} ($\forall t \in T$, $k \in K(i)$) für jedes Zeitfenster für den Artikel i und für jede für die Verarbeitung des Artikels i verfügbare Maschine k gefunden.

[0121] Fig. 4 zeigt die ausführliche Prozedur des Schritts **305**. In diesem Schritt bestimmt der Optimierungsabschnitt **11** den optimalen Aufwandsfunktionswert $V_t(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ und die im Folgenden beschriebene optimale Entscheidung $\delta_{it\text{-}1}{}^*(\delta_{it}, s_{it}, x_{it})$, um das Suboptimierungsproblem für den Artikel i zu lösen. Somit stellt der Optimierungsabschnitt **11** das Zeitfenster t zunächst auf 1 ein (Schritt **401**). Daraufhin berechnet der Optimierungsabschnitt **11** für alle zulässigen (ausführbaren) Kombinationen von (δ_{it}, s_{it}, x_{it}) den optimalen Aufwandsfunktionswert $V_t(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ (Schritt **402**). Dieser optimale Aufwandsfunktionswert wird unter Verwendung

der optimalen Aufwandsfunktion in Gleichung (20) innerhalb des für die Verarbeitung (Produktion) des Artikels i verfügbaren Bereichs ($k \in K(i)$) der Maschinen k berechnet. In Schritt **402** werden die berechneten optimalen Aufwandsfunktionswerte $V_t(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ in Tabellenform zusammen mit der entsprechenden optimalen Entscheidung $\delta_{it-1}^*(\delta_{it}, s_{it}, x_{it})$ in dem Aufwandsablagebereich **223** gespeichert.

[0122] Daraufhin inkrementiert der Optimierungsabschnitt **11** t um 1 (Schritt **403**). Falls das inkrementierte t nicht größer als n_t ist (Schritt **404**), führt der Optimierungsabschnitt **11** an dem inkrementierten t die oben beschriebene Verarbeitung in den Schritten **402** und **403** aus. Die Verarbeitung in den Schritten **402** und **403** wird wiederholt, bis $t = n_t$ ist (Schritt **404**).

[0123] Wenn das inkrementierte t n_t übersteigt, stellt der Optimierungsabschnitt **11** daraufhin t auf n_t ein (Schritt **405**). Daraufhin bewegt sich der Optimierungsabschnitt **11** in der umgekehrten Richtung von $t = n_t$ durch die optimalen Aufwände $V_t(\delta_{it}, x_{it}, s_{it})$ in dem Aufwandsablagebereich **223**. Das heißt, wie zuvor beschrieben wurde, sucht der Optimierungsabschnitt **11** zunächst nach einer während des Zeitfensters $t = n_t$ zulässigen der Kombinationen $(\delta_{it}, s_{it}, x_{it})$ von δ_{it}, s_{it} und x_{it}, die den Wert (den optimalen Aufwand) für $V_t(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ minimiert, und stellt diese Kombination $(\delta_{it}, s_{it}, x_{it})$ als eine optimale Lösung $\delta_{it}^*, s_{it}^*, x_{it}^*$ ein (Schritt **406**)

[0124] Daraufhin identifiziert der Optimierungsabschnitt **11** die optimale Entscheidung $\delta_{it-1}^*(\delta_{it}^*, s_{it}^*, x_{it}^*)$ für δ_{it}^*, s_{it}^* und x_{it}^* (Schritt **407**). Der Optimierungsabschnitt **11** verwendet diese δ_{it}^*, s_{it}^* und x_{it}^*, um in dem Zeitfenster t-1, das dem Zeitfenster mit dem optimalen Aufwand V_t vorhergeht, s_{it-1}^* und x_{it-1}^* zu bestimmen (Schritt **408**). In diesem Fall werden s_{it-1}^* und x_{it-1}^* durch Einsetzen von δ_{it}^*, s_{it}^* und x_{it}^* in die zuvor beschriebenen Gleichungen (4) und (5) bestimmt. Wie zuvor beschrieben wurde, ist es allerdings ebenfalls möglich, s_{it-1}^* und x_{it-1}^* auf der Grundlage von $\delta_{it-1}^*(\delta_{it}, s_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ für den Artikel i in jedem Zeitfenster, das in dem Aufwandsspeicherbereich **223** gespeichert ist, in Tabellenform zu bestimmen. Der Optimierungsabschnitt **11** wiederholt die oben beschriebenen Schritte **406** bis **408**, während er t um 1 dekrementiert (Schritt **409**). Dies wird bis t = 1 wiederholt (Schritt **410**).

[0125] Auf diese Weise bestimmt der Optimierungsabschnitt **11** dasjenige δ_{it}^{kv} ($t = 1, ..., n_t$, $k \in K(i)$), das den Artikel mit dem optimalen Aufwand liefert (Schritt **305**). Daraufhin aktualisiert der Optimierungsabschnitt **11** δ_{it}^{kv} in dem Zwischenergebnisablagebereich **224** auf das neueste bestimmte δ_{it}^{kv} (Schritt **306**).

[0126] Daraufhin inkrementiert der Optimierungsabschnitt **11** i um 1 (Schritt **307**). Falls das inkrementierte i nicht größer als n_i ist, bestimmt der Optimierungsabschnitt **11**, dass unverarbeitete Artikel verbleiben. In diesem Fall führt der Optimierungsabschnitt **11** an dem durch das inkrementierte i bezeichneten Artikel i die oben beschriebenen Schritte **305** bis **307** aus.

[0127] Wenn daraufhin das inkrementierte i n_i übersteigt, bestimmt der Optimierungsabschnitt **11**, dass die Lösung δ_{it}^{kv} ($\forall i \in I$, $t \in T$, $k \in K(i)$) für alle Artikel $i = 1, ..., n_i$ gefunden worden ist. In diesem Fall aktiviert der Optimierungsabschnitt **11** den Brachzeitbestimmungsabschnitt **14** und den Hinlänglichkeitsbestimmungsabschnitt **18**.

[0128] Der Brachzeitbestimmungsabschnitt **14** berechnet auf der Grundlage der Lösungen δ_{it}^{kv} für alle durch die Maschine k verarbeiteten (produzierten) Artikel i ($i \in M(i)$) für jede Maschine k eine Brachzahl, die die Anzahl der Überlagerungen des Zeitfensters mit $\delta_{it}^{k} = 1$ unter den verschiedenen Typen von Artikeln i anzeigt. In diesem Fall wird eine Durchschnittsbrachzahl berechnet. Diese Durchschnittsbrachzahl wird durch Division der Gesamtsumme der Brachzahl für alle Artikel und für die gesamte Zeitdauer (für die gesamte Planungsperiode) mit der Wiederholungszahl v für alle Maschinen durch $n_t \cdot n_k$ (die Anzahl aller Zeitfenster·die Anzahl aller Maschinen) berechnet. Der Bestimmungsabschnitt **14** bestimmt durch Bestimmen, ob die berechnete Brachzahl (Durchschnittsbrachzahl) kleiner als ein vorgegebener Schwellenwert ist, ob die Brachzahl als beseitigt betrachtet wird oder nicht (Schritt **309**).

[0129] Andererseits bestimmt der Hinlänglichkeitsbestimmungsabschnitt **18** für alle Artikel i ($i \in I$ (1, 2, ..., n_i) die Gesamtzahl der Zeitfenster, während denen der Bestand an Halbfertigprodukten einen negativen Wert hat (d. h., während denen die Nichtnegativitätsbedingung nicht erfüllt ist). In dem oben beschriebenen Schritt **309** bestimmt der Bestimmungsabschnitt **18** auf der Grundlage der Gesamtzahl bestimmter Zeitfenster, ob der Bestand an Halbfertigprodukten hinlänglich ist. Genauer bestimmt der Bestimmungsabschnitt **28** für alle Artikel die Gesamtzahl der Zeitfenster, während denen der Bestand an Halbfertigprodukten einen negativen Wert hat. Die Rate der Hinlänglichkeit eines durchschnittlichen Bestands an Halbfertigprodukten wird durch Dividieren der Gesamtzahl der Zeitfenster durch $n_i \cdot n_t$ (die Gesamtzahl der Artikel·die Gesamtzahl der Zeitfenster) bestimmt. Daraufhin wird dadurch, dass bestimmt wird, ob die obige Rate kleiner als ein vorgegebener Schwel-

lenwert ist oder nicht, bestimmt, ob der Bestand an Halbfertigprodukten hinlänglich ist oder nicht. In diesem Fall wird unter Verwendung von x_{it}, kombiniert mit der entsprechenden in Schritt **305** bestimmten Lösung δ_{it}^{kv} gemäß der oben beschriebenen Gleichung (8), jeder Bestand an Halbfertigprodukten berechnet.

[0130] Falls wenigstens eine der Bedingungen, dass die Brachzeit beseitigt worden ist und dass der Bestand an Halbfertigprodukten hinlänglich ist, nicht erfüllt ist, wird die Anzahl der Wiederholungen (Iterationen) v um 1 inkrementiert (Schritt **310**). Daraufhin wird der Brachzeitsteuerabschnitt **15** und/oder der Bestandssteuerabschnitt **19** aktiviert. Falls die Brachzeit in diesem Fall nicht beseitigt worden ist, wird der Brachzeitsteuerabschnitt **15** aktiviert. Falls andererseits der Bestand an Halbfertigprodukten unzureichend ist, wird der Hinlänglichkeitsbestimmungsabschnitt **18** aktiviert. Falls keine der Bedingungen erfüllt ist, werden sowohl der Brachzeitsteuerabschnitt **15** als auch der Hinlänglichkeitsbestimmungsabschnitt **18** aktiviert.

[0131] Wenn der Brachzeitsteuerabschnitt **15** aktiviert worden ist, aktualisiert (koordiniert) er gemäß der zuvor beschriebenen Gleichung (17) den Lagrange-Multiplikator μ_t^{kv} für die Brachzeit und benachrichtigt er den Optimierungsabschnitt **11** darüber (Schritt **311**). Wenn andererseits in dem oben beschriebenen Schritt **311** der Hinlänglichkeitsbestimmungsabschnitt **18** aktiviert wird, aktualisiert (koordiniert) er den verwendeten Lagrange-Multiplikator μ_t^v, der dazu verwendet wird, gemäß der zuvor beschriebenen Gleichung (18) den Bestand an Halbfertigprodukten hinlänglich zu machen, und benachrichtigt er den Optimierungsabschnitt **11** darüber.

[0132] Daraufhin verwendet der Optimierungsabschnitt **11** den aktualisierten Lagrange-Multiplikator μ_t^{kv} und/oder den aktualisierten Lagrange-Multiplikator μ_t^v, um die Schritte **305** bis **307** für jeden Artikel wiederholt auszuführen (Schritt **308**). Dies ermöglicht, für jedes Zeitfenster die artikel- und maschinenbasierte Lösung δ_{it}^{kv} zu finden. Daraufhin wird angenommen, dass der Brachzeitbestimmungsabschnitt **14** in dem oben beschriebenen Schritt **309** bestimmt, dass die Brachzeit als beseitigt betrachtet wird. Ferner wird in Schritt **309** angezeigt, dass der Hinlänglichkeitsbestimmungsabschnitt **18** bestimmt, dass der Bestand an Halbfertigprodukten hinlänglich ist. Daraufhin werden die entsprechenden artikel- und maschinenbasierten Lösungen δ_{it}^{kv} in dem Endergebnisspeicherbereich **225** gespeichert und wird der Ablaufplanerstellungsabschnitt **16** aktiviert (Schritt **312**).

[0133] Somit erzeugt der Ablaufplanerstellungsabschnitt **16** auf der Grundlage der artikel- und maschinenbasierten Lösungen δ_{it}^{kv} einen Produktionsablaufplan und speichert ihn in dem Ablaufplanablagebereich **226** (Schritt **313**). Wie zuvor beschrieben wurde, wird die artikel- und maschinenbasierte Lösung δ_{it}^{kv} durch die 0-1-Variable repräsentiert. Somit ist in einem Produktionsablaufplan in jedem auf der Zeitachse vorgesehenen Zeitfenster t und für jeden Artikel i und für jede Maschine k die Lösung δ_{it}^{kv} 1, falls der Artikel i während dieses Zeitfensters durch die Maschine k verarbeitet (eingerichtet oder produziert) wird. Anderenfalls ist die Lösung δ_{it}^{kv} 0. Dementsprechend können auf der Grundlage einer Liste von 1-en in den Lösungen δ_{it}^{kv} und ihrer zeitlichen Positionen artikel- und maschinenbasierte Lösgrößen und die zeitlichen Positionen der Lose erzeugt werden. Die zeitlichen Positionen der Lose liefern Informationen, die zum Bestimmen ihrer Abfolge in einem ausführbaren Ablaufplan verwendet werden. Das heißt, in der vorliegenden Ausführungsform können die Losgröße und die Losabfolge gleichzeitig erzeugt werden, wenn die Lösung δ_{it}^{kv} als eine Lösung (als ein Ablaufplan) für die Artikel gefunden worden ist, was ermöglicht, dass die Bestimmungsabschnitte **14** und **18** bestimmen, dass die Brachzeit als beseitigt betrachtet wird bzw. dass der Bestand an Halbfertigprodukten hinlänglich ist.

[0134] Der in dem Ablaufplanablagebereich **226** gespeicherte Produktionsablaufplan wird auf der Anzeige **26** in **Fig. 2** gezeigt und automatisch oder in Reaktion auf eine Druckbefehlseingabe von der Tastatur **25** als ein Ausdruck durch eine Druckervorrichtung (in der Zeichnung nicht gezeigt) ausgegeben. Ferner kann dieser Produktionsablaufplan so, wie er ist, oder nach einer im Voraus bestimmten Datenumwandlung als Steuerinformationen für eine Produktionslinie verwendet werden.

[0135] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt. In der Praxis können an diesen Ausführungsformen viele Änderungen vorgenommen werden, ohne von dem Erfindungsgedanken der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Darüber hinaus enthalten die oben beschriebenen Ausführungsformen verschiedene Ebenen der Erfindung. Dementsprechend können verschiedene Aspekte der vorliegenden Erfindung durch Kombinieren mehrerer offenbarter Komponenten entnommen werden. Falls z. B. trotz der Weglassung irgendwelcher der in den Ausführungsformen gezeigten Komponenten die in dem Abschnitt über die durch die Erfindung zu lösenden Probleme beschriebenen Probleme gelöst werden können, um die in dem Abschnitt über die Wirkungen der Erfindung diskutierten Wirkungen zu erzielen, wird eine Konfiguration, die frei von diesen Komponenten ist, als ein Aspekt der vorliegenden Erfindung entnommen.

Industrielle Anwendbarkeit

[0136] Gemäß der vorliegenden Erfindung kann ein wirtschaftlicher, sinnvoller und ausführbarer Ablaufplan erzeugt werden, der verschiedene in einem Ablaufplanungsproblem von mehreren Prozessen für mehrere Artikel enthaltene Entscheidungsmerkmale, ohne diese Merkmale aufzuzählen oder sich ihrer bewusst zu sein und ohne irgendeine Notwendigkeit künstlicher Bedingungen, löst.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel, in dem ein Computer einen Produktionsablaufplan erzeugt, der auf ein Produktionssystem für mehrere Prozesse für mehrere Artikel anwendbar ist, das mehrere Maschinen zum Verarbeiten von Artikeln verwendet, was mehreren Prozessen entspricht, die darauf eingestellt sind, von einem gegenwärtig verarbeiteten Artikel zu einem anderen Artikel zu wechseln und eine Einrichtung für den anderen Artikel durchzuführen, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:
einen Schritt (**305**) zum Lösen eines artikelbasierten eindimensionalen Suboptimierungsproblems, unabhängig von anderen verarbeiteten Artikeln, wobei das Problem unter einer ersten Bedingung zur Brachzeit zwischen Artikeln und einer zweiten Bedingung, dass ein Engpass eines Bestands an Halbfertigprodukten nicht zulässig ist, zu lösen ist, wobei das Problem einem Problem bei der Ablaufplanung von mehreren Verfahren für mehrere Artikel entspricht und gelöst wird, um einen Ablaufplan für jeden Artikel, der in einem Prozess verarbeitet wird, der jedem der Artikel entspricht, zu erstellen, wobei das Problem zu lösen ist, um einen Gesamtaufwand zu optimieren, der einen ersten Strafaufwand, der der ersten Bedingung entspricht, und einen zweiten Strafaufwand, der der zweiten Bedingung entspricht, beinhaltet;
einen Schritt zum Vornehmen einer Koordination zwischen Verarbeitungen der Artikel, die zum Erfüllen der ersten und der zweiten Bedingung erforderlich ist, auf Grundlage einer artikelbasierten Lösung, die im Lösungsschritt (**305**) gefunden wurde;
einen Schritt (**309**) zum Bewirken, dass der Lösungsschritt (**305**) erneut ausgeführt wird, bis die erste und die zweite Bedingung im Koordinierungsschritt erfüllt sind; und
einen Schritt (**313**) zum Erstellen des Produktionsablaufplans auf Grundlage der artikelbasierten Lösung, die im Lösungsschritt gefunden wurde, wenn die erste und die zweite Bedingung erfüllt sind.

2. Verfahren zur Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es weiterhin Folgendes umfasst:
einen Schritt zum Bestimmen, ob die erste Bedingung erfüllt ist, auf Grundlage des Ausmaßes der Brachzeit in derselben Maschine zwischen den Artikeln für die artikelbasierte Lösung, die im Lösungsschritt (**305**) gefunden wurde; und
einen Schritt zum Bestimmen, ob die zweite Bedingung erfüllt ist, auf Grundlage des Bestands an Halbfertigprodukten für die artikelbasierte Lösung, die im Lösungsschritt (**305**) gefunden wurde, und
dass im Koordinierungsschritt, wenn im Schritt zum Bestimmen, ob die erste Bedingung erfüllt ist, bestimmt wird, dass die erste Bedingung nicht erfüllt ist, der erste Strafaufwand aktualisiert wird, damit das Ausmaß der Brachzeit verringert wird, und wenn im Schritt zum Bestimmen, ob die zweite Bedingung erfüllt ist, bestimmt wird, dass die zweite Bedingung nicht erfüllt ist, der zweite Strafaufwand aktualisiert wird, damit der Bestand an Halbfertigprodukten hinlänglich gemacht wird.

3. Verfahren zur Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Bedingung für das eindimensionale Suboptimierungsproblem durch Gewichten mit einem ersten Lagrange-Multiplikator gelockert wird und die zweite Bedingung durch Gewichten mit einem zweiten Lagrange-Multiplikator gelockert wird, wobei der erste Lagrange-Multiplikator den ersten Strafaufwand anzeigt, der zweite Lagrange-Multiplikator den zweiten Strafaufwand anzeigt.

4. Verfahren zur Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass es weiterhin Folgendes umfasst:
einen Schritt zum Bestimmen, ob die erste Bedingung erfüllt ist, auf Grundlage des Ausmaßes der Brachzeit in derselben Maschine zwischen den Artikeln für die artikelbasierte Lösung, die im Lösungsschritt (**305**) gefunden wurde; und
einen Schritt zum Bestimmen, ob die zweite Bedingung erfüllt ist, auf Grundlage des Bestands an Halbfertigprodukten für die artikelbasierte Lösung, die im Lösungsschritt (**305**) gefunden wurde, und
dass im Koordinierungsschritt, wenn im Schritt zum Bestimmen, ob die erste Bedingung erfüllt ist, bestimmt wird, dass die erste Bedingung nicht erfüllt ist, der erste Lagrange-Multiplikator aktualisiert wird, damit das Ausmaß der Brachzeit verringert wird, und wenn im Schritt zum Bestimmen, ob die zweite Bedingung erfüllt ist,

bestimmt wird, dass die zweite Bedingung nicht erfüllt ist, der zweite Lagrange-Multiplikator aktualisiert wird, damit der Bestand an Halbfertigprodukten hinlänglich gemacht wird.

5. Verfahren zur Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass im Lösungsschritt (**305**) für jeden Artikel und jede Maschine und für jeweilige Zeitfenster, in die eine Planungsperiode zu voreingestellten Zeitintervallen unterteilt wird, eine Entscheidungsvariable als eine Lösung erhalten wird, wobei die Entscheidungsvariable anzeigt, ob das Zeitfenster von der Maschine dazu verwendet wird, den Artikel zu produzieren.

6. Verfahren zur Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Bedingung eine Interaktionsbedingung ist, die anzeigen kann, dass von artikel- und maschinenbasierten Entscheidungsvariablen in einem willkürlichen Zeitfenster nur eine Entscheidungsvariable für höchstens einen Artikel für dieselbe Maschine verwendet wird.

7. Verfahren zur Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass im Lösungsschritt (**305**) die Entscheidungsvariable für den Artikel i in einem willkürlichen Zeitfenster t als δ_{it} definiert ist, der erste Lagrange-Multiplikator als μ definiert ist, der zweite Lagrange-Multiplikator als λ_i definiert, ein Zustand eines scheinbaren Bestands, der anstelle einer akkumulierten Lieferung verwendet wird, die tatsächlich an einen nächsten Prozess am Ende des Zeitfensters t geliefert wurde, und der unter Verwendung der akkumulierten Menge des Artikels i berechnet wird, die durch Auseinanderziehen äußerer Anforderungen in Zeitfenstern, die mit dem Zeitfenster t enden, in den Artikel i im Zeitfenster t erhalten wird, als eine Zustandsvariable x_{it} definiert ist, die verbleibende Einrichtungszeit, die zur Einrichtung für den Artikel i erforderlich ist, als s_{it} definiert ist und das eindimensionale Suboptimierungsproblem unter Verwendung einer optimalen Aufwandsfunktion $V_i(\delta_{it}, x_{it}, \mu, \lambda_i)$ gelöst wird, die die Summe von Aufwänden anzeigt, die in Verbindung mit optimalen Entscheidungen auftreten, die während der Zeitfenster, die mit dem Zeitfenster t enden, gemacht werden.

8. Verfahren zur Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der unter Verwendung der optimalen Aufwandsfunktion berechnete Aufwand einen ersten Strafaufwand, der einer Maschinengebühr entspricht, die auf Grundlage des ersten Lagrange-Multiplikators μ berechnet wurde, einen zweiten Strafaufwand, der einer Maschinengebühr entspricht, die auf Grundlage des zweiten Lagrange-Multiplikators λ_i berechnet wurde, und einen Aufwand, der mit der Zustandsvariable x_{it} bestimmt wurde, und einen Staffelbestandslagerungsaufwand h_i pro Zeitfenster für einen Wert, der als Ergebnis der Verarbeitung des Artikels i neu hinzugefügt wurde, beinhaltet.

9. Vorrichtung zur Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozesse für mehrere Artikel, die einen Produktionsablaufplan erzeugt, der auf ein Produktionssystem für mehrere Prozesse für mehrere Artikel anwendbar ist, das mehrere Maschinen zum Verarbeiten von Artikeln verwendet, was mehreren Prozessen entspricht, die darauf eingestellt sind, von einem gegenwärtig verarbeiteten Artikel zu einem anderen Artikel zu wechseln und eine Einrichtung für den anderen Artikel durchzuführen, wobei die Vorrichtung Folgendes umfasst:
Optimierungsmittel (**11**) zum Lösen eines artikelbasierten eindimensionalen Suboptimierungsproblems, unabhängig von anderen verarbeiteten Artikeln, wobei das Problem unter einer ersten Bedingung zur Brachzeit zwischen Artikeln und einer zweiten Bedingung, dass ein Engpass eines Bestands an Halbfertigprodukten nicht zulässig ist, zu lösen ist, wobei das Problem einem Problem bei der Ablaufplanung von mehreren Verfahren für mehrere Artikel entspricht und gelöst wird, um einen Ablaufplan für jeden Artikel, der in einem Prozess verarbeitet wird, der jedem der Artikel entspricht, zu erstellen, wobei das Problem gelöst wird, um einen Gesamtaufwand zu optimieren, der einen ersten Strafaufwand, der der ersten Bedingung entspricht, und einen zweiten Strafaufwand, der der zweiten Bedingung entspricht, beinhaltet;
Brachzeitkontrollmittel (**15**) zum Vornehmen einer Koordination zwischen Verarbeitungen der Artikel, die zum Erfüllen der ersten Bedingung erforderlich ist, auf Grundlage einer artikelbasierten Lösung, die von dem Optimierungsmittel (**11**) gefunden wurde;
Bestandskontrollmittel (**19**) zum Vornehmen einer Koordination, die zum Erfüllen der zweiten Bedingung erforderlich ist, auf Grundlage der artikelbasierten Lösung, die von dem Optimierungsmittel (**11**) gefunden wurde; und
Ablaufplanerstellungsmittel (**16**) zum Erstellen eines Produktionsablaufplans auf Grundlage der artikelbasierten Lösung, die von dem Optimierungsmittel (**11**) gefunden wurde, wenn die erste und die zweite Bedingung erfüllt sind; und
wobei das Optimierungsmittel (**11**) das artikelbasierte eindimensionale Optimierungsproblem löst, bis die erste und die zweite Bedingung erfüllt sind.

10. Vorrichtung zur Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass sie weiterhin Folgendes umfasst:
Brachzeitbestimmungsmittel (**14**) zum Bestimmen, ob die erste Bedingung erfüllt ist, auf Grundlage des Ausmaßes der Brachzeit in derselben Maschine zwischen den Artikeln für die artikelbasierte Lösung, die von dem Optimierungsmittel (**11**) gefunden wurde; und
Bestandshinlänglichkeitsbestimmungsmittel (**18**) zum Bestimmen, ob die zweite Bedingung erfüllt ist, auf Grundlage des Bestands an Halbfertigprodukten für die artikelbasierte Lösung, die von dem Optimierungsmittel (**11**) gefunden wurde, und
dass, wenn das Brachzeitbestimmungsmittel (**14**) bestimmt, dass die erste Bedingung nicht erfüllt ist, das Brachzeitkontrollmittel (**15**) den ersten Strafaufwand aktualisiert, damit das Ausmaß der Brachzeit verringert wird, und
dass, wenn das Bestandshinlänglichkeitsbestimmungsmittel (**18**) bestimmt, dass die zweite Bedingung nicht erfüllt ist, das Bestandskontrollmittel (**19**) den zweiten Strafaufwand aktualisiert, damit der Bestand an Halbfertigprodukten hinlänglich gemacht wird.

11. Vorrichtung zur Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Bedingung für das artikelbasierte eindimensionale Suboptimierungsproblem durch Gewichten mit einem ersten Lagrange-Multiplikator gelockert wird und die zweite Bedingung durch Gewichten mit einem zweiten Lagrange-Multiplikator gelockert wird, wobei der erste Lagrange-Multiplikator den ersten Strafaufwand anzeigt, der zweite Lagrange-Multiplikator den zweiten Strafaufwand anzeigt.

12. Vorrichtung zur Losgrößen-Ablaufplanung von mehreren Prozessen für mehrere Artikel nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass sie weiterhin Folgendes umfasst:
Brachzeitbestimmungsmittel (**14**) zum Bestimmen, ob die erste Bedingung erfüllt ist, auf Grundlage des Ausmaßes der Brachzeit in derselben Maschine zwischen den Artikeln für die artikelbasierte Lösung, die von dem Optimierungsmittel (**11**) gefunden wurde; und
Bestandshinlänglichkeitsbestimmungsmittel (**18**) zum Bestimmen, ob die zweite Bedingung erfüllt ist, auf Grundlage des Bestands an Halbfertigprodukten für die artikelbasierte Lösung, die von dem Optimierungsmittel (**11**) gefunden wurde, und
dass, wenn das Brachzeitbestimmungsmittel (**14**) bestimmt, dass die erste Bedingung nicht erfüllt ist, das Brachzeitkontrollmittel (**15**) den ersten Lagrange-Multiplikator aktualisiert, damit das Ausmaß der Brachzeit verringert wird, und
dass, wenn das Bestandshinlänglichkeitsbestimmungsmittel (**18**) bestimmt, dass die zweite Bedingung nicht erfüllt ist, das Bestandskontrollmittel (**19**) den zweiten Lagrange-Multiplikator aktualisiert, damit der Bestand an Halbfertigprodukten hinlänglich gemacht wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

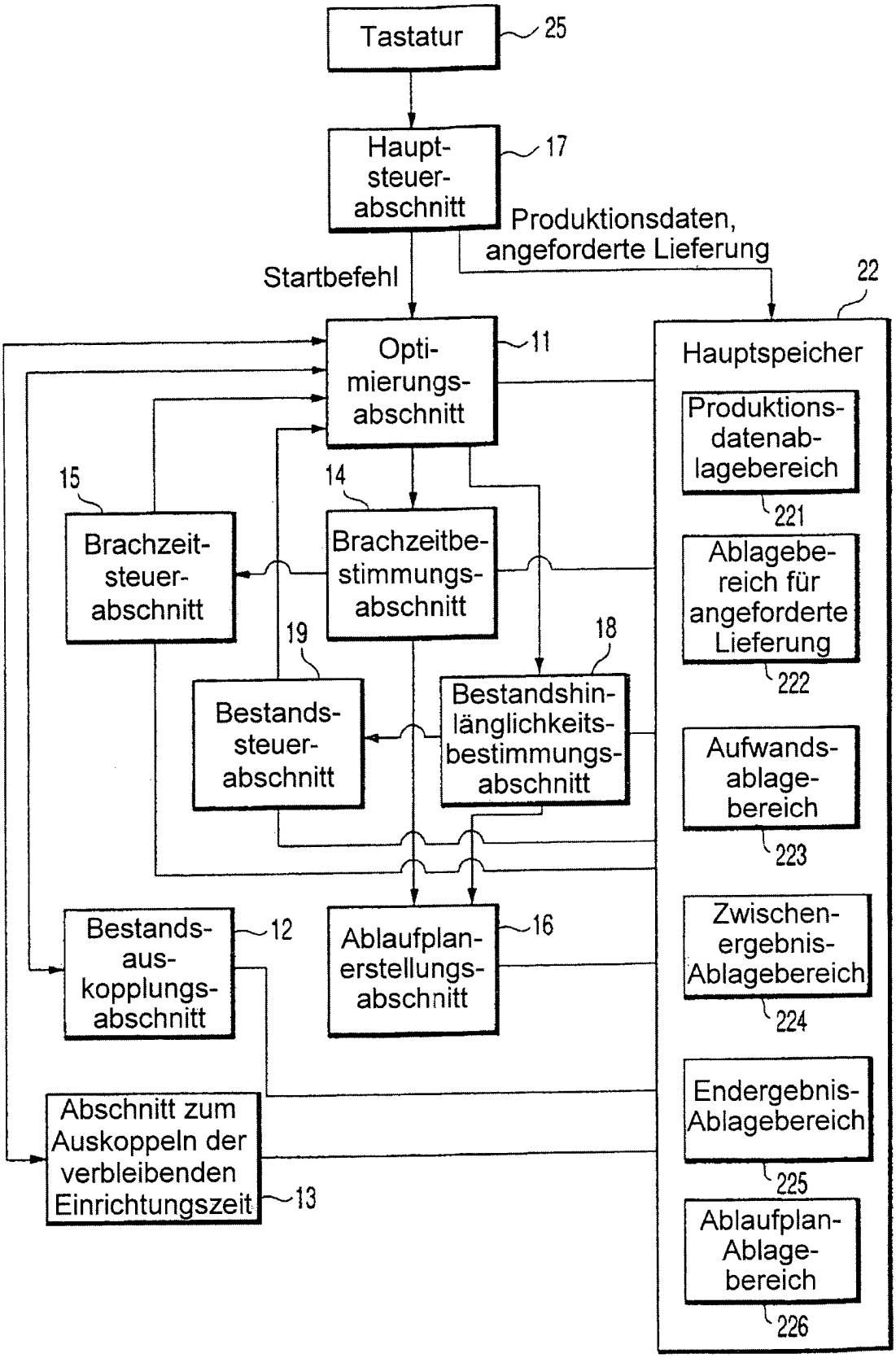


FIG. 1

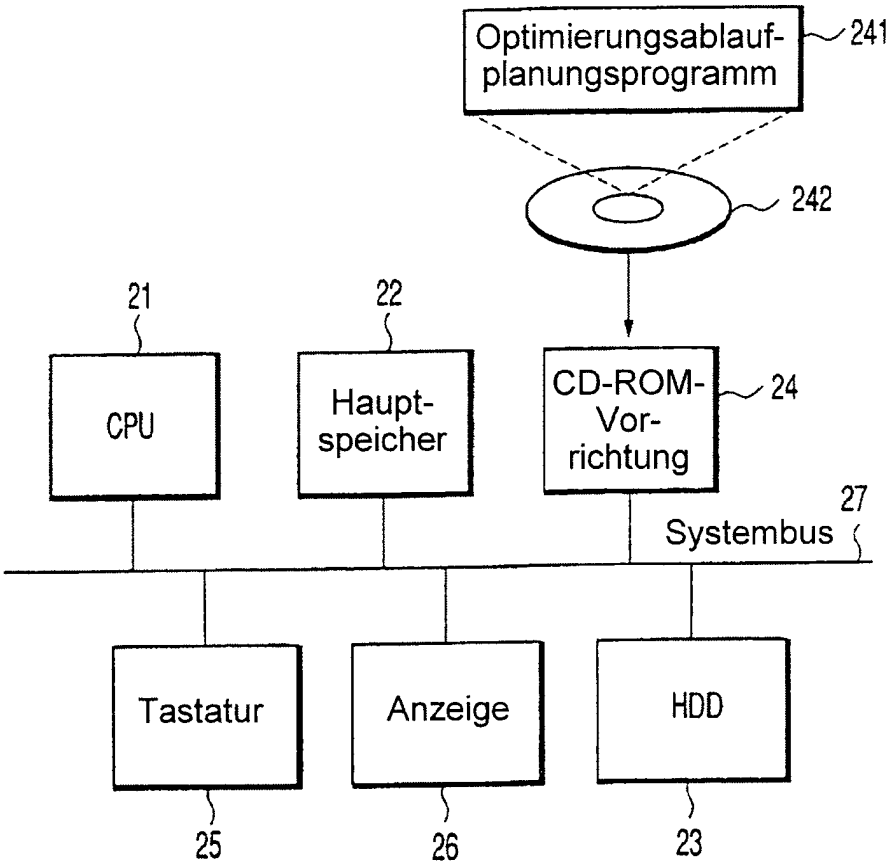


FIG. 2

$(\delta^k_{it-1}, s^k_{it-1})$	$(\delta^k_{it}, s^k_{it})$				
	(0,0)	$(1, s^k_{it} = s^k_{it-1})$	$(1, s^k_{it} = s^k_{it-1} - 1)$	$(1, s^k_{it} = s^k_{imax})$	andere
(0,0)	○	×	×	○	×
(1,0)	○	○	×	×	×
$(1, 1 \leqq s^k_{it-1} \leqq s^k_{imax})$	×	×	○	×	×

FIG. 5

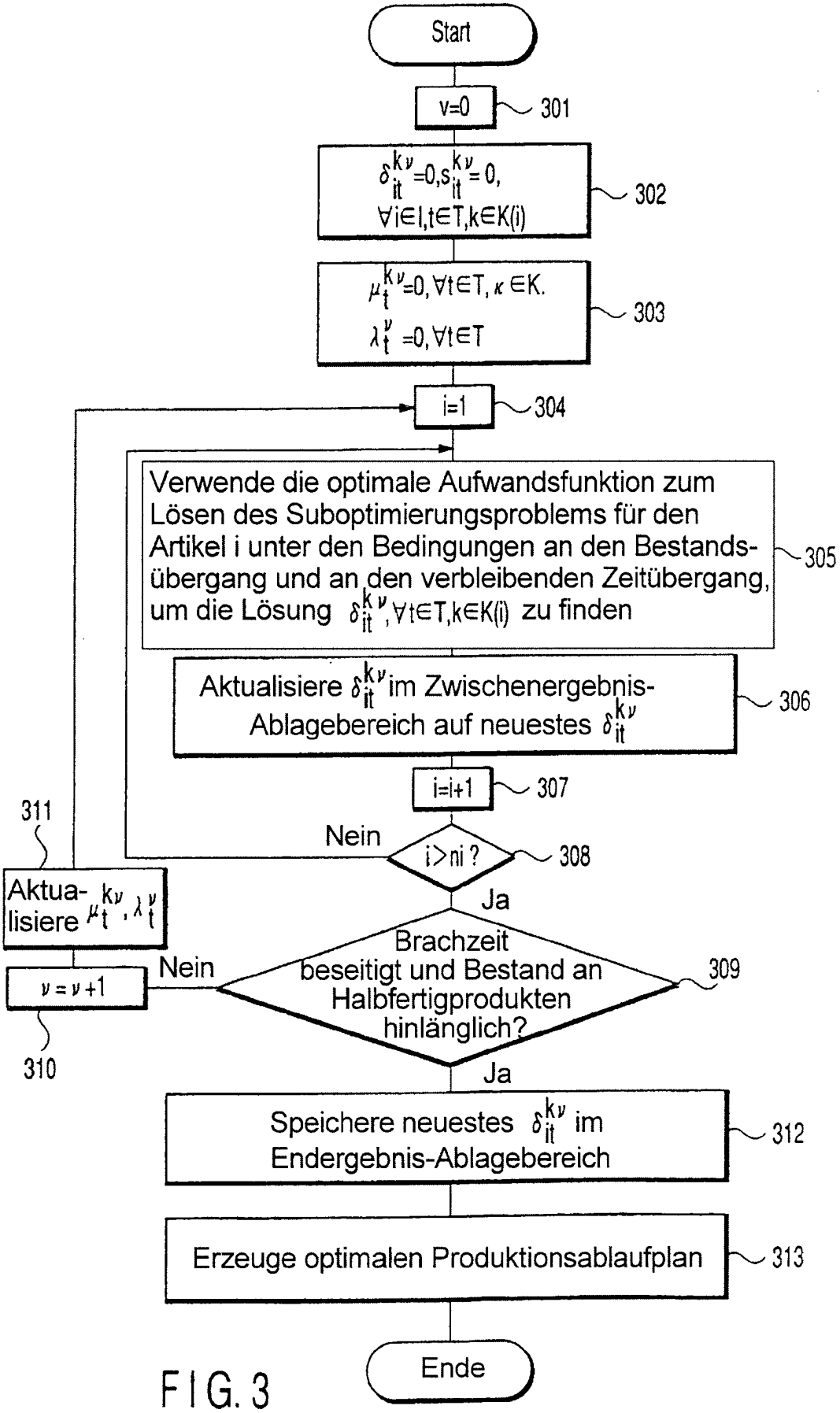

Start
v=0
301
$\delta_{it}^{k\nu}=0, s_{it}^{k\nu}=0,$
$\forall i \in I, t \in T, k \in K(i)$
302
$\mu_t^{k\nu}=0, \forall t \in T, \kappa \in K.$
$\lambda_t^{\nu}=0, \forall t \in T$
303
i=1
304
Verwende die optimale Aufwandsfunktion zum Lösen des Suboptimierungsproblems für den Artikel i unter den Bedingungen an den Bestandsübergang und an den verbleibenden Zeitübergang, um die Lösung $\delta_{it}^{k\nu}, \forall t \in T, k \in K(i)$ zu finden
305
Aktualisiere $\delta_{it}^{k\nu}$ im Zwischenergebnis-Ablagebereich auf neuestes $\delta_{it}^{k\nu}$
306
i=i+1
307
Nein
i>ni ?
308
Ja
311
Aktua-lisiere $\mu_t^{k\nu}, \lambda_t^{\nu}$
Nein
Brachzeit beseitigt und Bestand an Halbfertigprodukten hinlänglich?
309
$\nu = \nu + 1$
310
Ja
Speichere neuestes $\delta_{it}^{k\nu}$ im Endergebnis-Ablagebereich
312
Erzeuge optimalen Produktionsablaufplan
313
Ende

FIG. 3

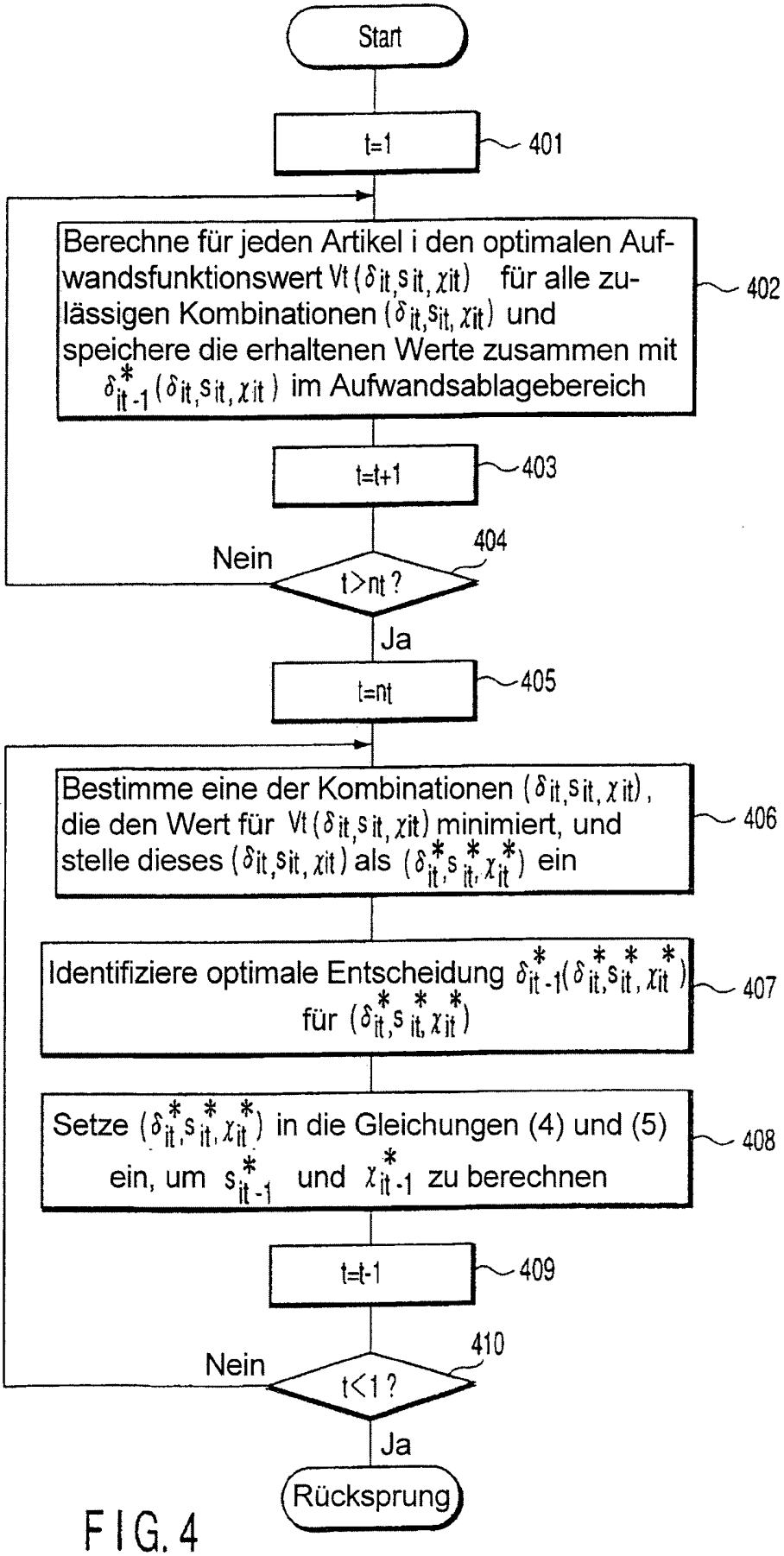

Start
t=1
401
Berechne für jeden Artikel i den optimalen Aufwandsfunktionswert Vt(δit,sit,χit) für alle zulässigen Kombinationen (δit,sit,χit) und speichere die erhaltenen Werte zusammen mit δ*it-1(δit,sit,χit) im Aufwandsablagebereich
402
t=t+1
403
Nein
404
t>nt ?
Ja
t=nt
405
Bestimme eine der Kombinationen (δit,sit,χit), die den Wert für Vt(δit,sit,χit) minimiert, und stelle dieses (δit,sit,χit) als (δ*it,s*it,χ*it) ein
406
Identifiziere optimale Entscheidung δ*it-1(δ*it,s*it,χ*it) für (δ*it,s*it,χ*it)
407
Setze (δ*it,s*it,χ*it) in die Gleichungen (4) und (5) ein, um s*it-1 und χ*it-1 zu berechnen
408
t=t-1
409
Nein
410
t<1 ?
Ja
Rücksprung

FIG. 4

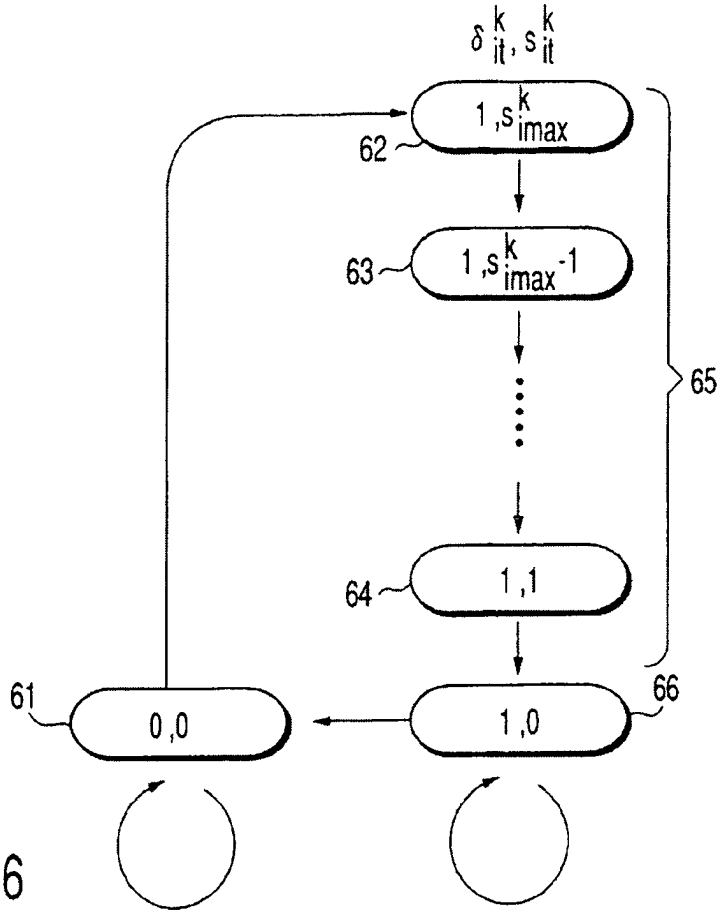

δ k it , s k it
1 ,s k imax
62
1 ,s k imax -1
63
65
1 ,1
64
61
0 ,0
1 ,0
66

FIG. 6

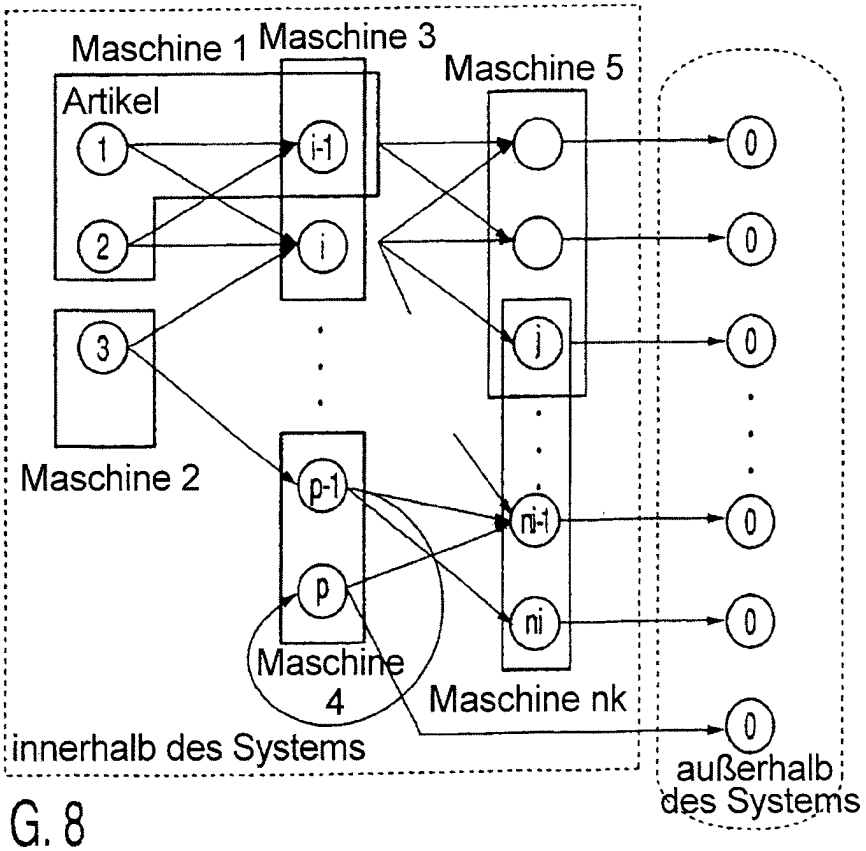

Maschine 1
Maschine 3
Maschine 5
Artikel
1
2
3
i-1
i
j
p-1
p
ni-1
ni
0
Maschine 2
Maschine 4
Maschine nk
innerhalb des Systems
außerhalb des Systems

FIG. 8

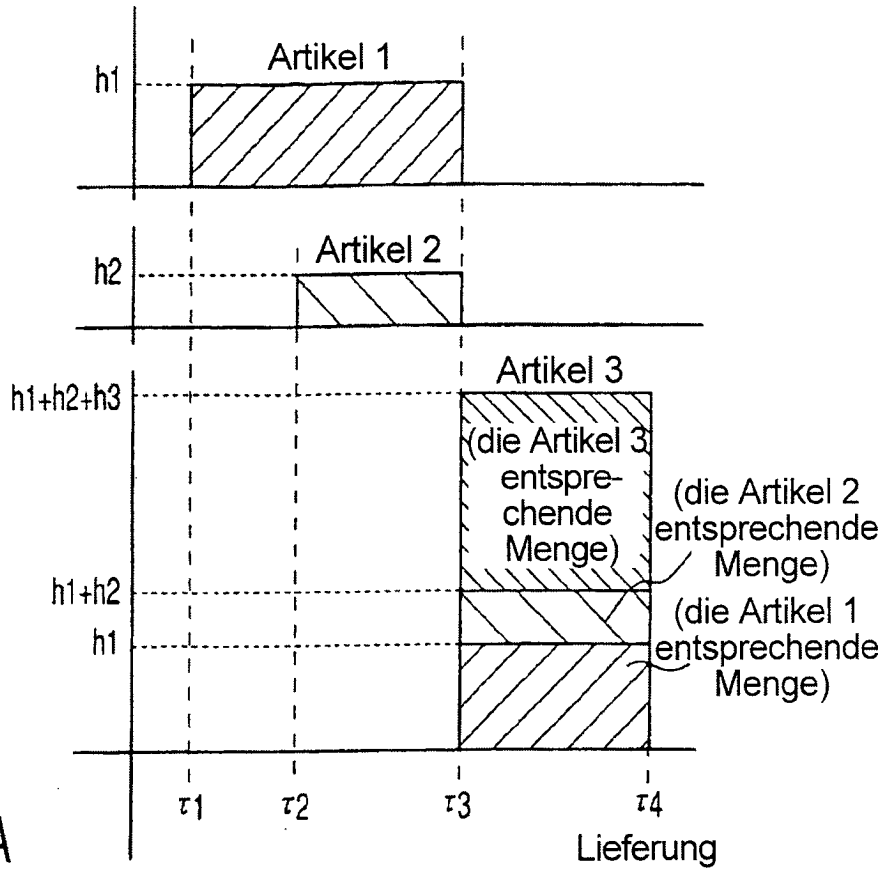

h1
Artikel 1
h2
Artikel 2
h1+h2+h3
Artikel 3
(die Artikel 3 entspre-chende Menge)
(die Artikel 2 entsprechende Menge)
h1+h2
h1
(die Artikel 1 entsprechende Menge)
τ1
τ2
τ3
τ4
Lieferung

FIG. 7A

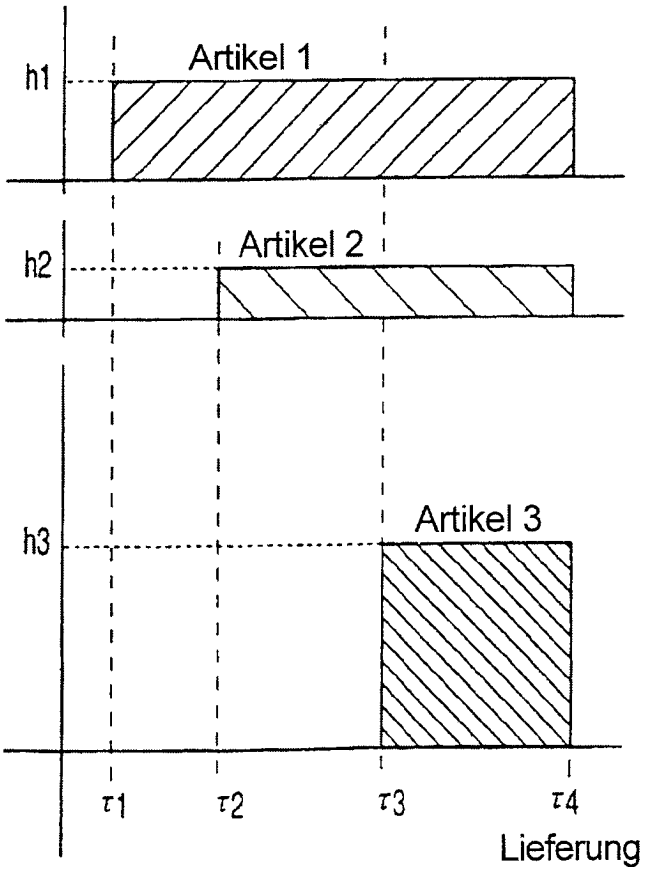

h1
Artikel 1
h2
Artikel 2
h3
Artikel 3
τ1
τ2
τ3
τ4
Lieferung

FIG. 7B