



(10) **DE 10 2011 078 143 A1** 2012.12.27

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 078 143.9**
(22) Anmeldetag: **27.06.2011**
(43) Offenlegungstag: **27.12.2012**

(51) Int Cl.: **G06Q 10/00 (2011.01)**
G06F 17/18 (2011.01)
G05B 23/00 (2011.01)
G05B 19/048 (2011.01)

(71) Anmelder:
Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

(72) Erfinder:
Heinecke, Georg, 39345, Flechtingen, DE;
Lamparter, Steffen, 81671, München, DE; Lepratti,
Raffaello, 10117, Berlin, DE

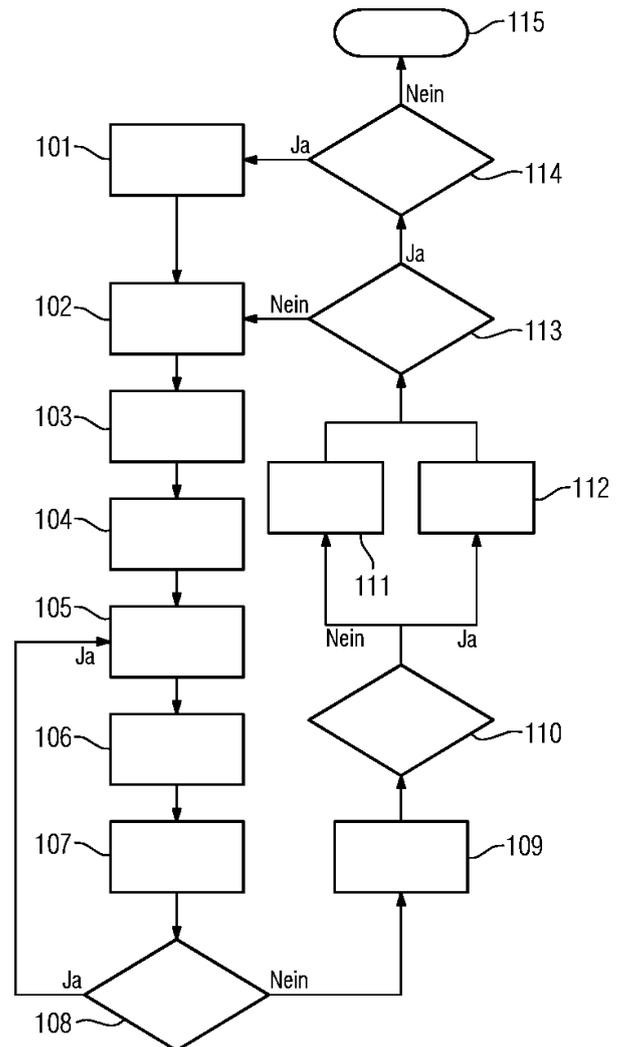
US 2003 / 0 079 160 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Auslegung und Betrieb eines technischen Prozesses**

(57) Zusammenfassung: Es wird vorgeschlagen, einen Prozess so auszulegen, dass (zeit-)kritische Ereignisse frühzeitig und verlässlich erkennbar sind und entsprechend Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können. Hierzu werden bevorzugt Zeitinformationen an einem Erfassungspunkt mit zugehörigen Zeitinformationen am Prozessende korreliert und hieraus ein Schwellwert bestimmt, anhand dessen mit hoher Wahrscheinlichkeit ein kritisches Ereignis bereits an dem Erfassungspunkt (also vor Prozessende) vorhergesagt werden kann. Hierbei ist es von Vorteil, dass der Ansatz effizient ist, flexibel skaliert werden kann, und über ein hohes Maß an Transparenz verfügt und damit die Benutzerakzeptanz fördert. Die Erfindung kann beispielsweise in industriellen Anwendungen wie Prozess-Steuerung, Fertigung, Lagerhaltung, etc. eingesetzt werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Auslegung bzw. zum Betrieb eines technischen Prozesses sowie entsprechende Vorrichtungen.

[0002] Technische Prozesse unterliegen natürlichen Schwankungen um einen Mittelwert. Diese Schwankungen können über längere, sequentielle Abläufe, z.B. global ausgelegte Lieferketten, beträchtliche Ausmaße annehmen. In industriellen Anwendungen können z.B. Ist-Durchlaufzeiten wesentlich von Soll-Durchlaufzeiten abweichen und vorgesehene Liefertermine gefährden. Grundsätzlich ist es wünschenswert, dass Abweichungen, die zu kritischen Ereignissen führen (z.B. ein nicht einhaltbarer Liefertermin), möglichst frühzeitig erkannt werden, um ggf. Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Hierfür müssen Grenzwerte an Erfassungspunkten entlang eines Prozesses bestimmt werden, bei deren Über- bzw. Unterschreitung eine vorgegebene Reaktion ausgelöst wird.

[0003] Es ist bekannt, pauschale oder prozentuale Aufschläge anzugeben, die die maximal zulässige Abweichung von einem Sollwert vorgeben. Bei der Über- bzw. Unterschreitung des Sollwerts an den entsprechenden Erfassungspunkten entlang eines Prozesses kann ein kritisches Ereignis erkannt werden.

[0004] Hierbei ist es nachteilig, dass die dynamischen Einflüsse der Folgeprozesse nicht berücksichtigt werden.

[0005] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, die vorstehend genannten Nachteile zu vermeiden und insbesondere eine effiziente Lösung anzugeben, um kritische Ereignisse eines technischen Prozessablaufs frühzeitig und verlässlich erkennen zu können.

[0006] Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind insbesondere den abhängigen Ansprüchen entnehmbar.

[0007] Zur Lösung der Aufgabe wird ein Verfahren zur Auslegung eines technischen Prozesses vorgeschlagen,

- (a) bei dem ein Korrelationswert bestimmt wird, indem anhand historischer Daten Informationen an Erfassungspunkten des technischen Prozesses mit Prozess-Informationen korreliert werden;
- (b) bei dem der Korrelationswert für die Bestimmung des Schwellwerts für den Erfassungspunkt herangezogen wird.

[0008] Der vorliegende Ansatz ermöglicht somit eine Bestimmung von Schwellwerten an Erfassungspunkten für die frühzeitige Identifikation von kritischen Ereignissen in einem technischen Prozessablauf.

[0009] Insbesondere kann ein maximaler Korrelationswert für die Bestimmung des Schwellwerts für den Erfassungspunkt herangezogen bzw. berücksichtigt werden.

[0010] Bei den historischen Daten kann es sich um vergangene Daten des Prozesses handeln, die entsprechend gesammelt, z.B. gespeichert, wurden und für die Korrelation ausgewertet werden können. Insbesondere ist es ein Vorteil, dass auch nach der (erstmaligen) Auslegung des Prozesses anfallende Daten berücksichtigt werden können: Beispielsweise kann, sobald zusätzliche Daten vorliegen, die Bestimmung des Schwellwerts erneut durchgeführt werden. Damit kann eine Verfeinerung bzw. Anpassung erreicht werden, was sich vorteilhaft auf die Prozessstabilität auswirkt bzw. die Dynamik der Prozessstabilität entsprechend berücksichtigt.

[0011] Hierbei ist es besonders von Vorteil, dass die Informationen der Erfassungspunkte in Bezug gesetzt werden zu Informationen betreffend den gesamten Prozess oder zumindest einen Teil des gesamten Prozesses. Hierdurch kann durch den Korrelationswert bestimmt werden, inwieweit eine lokale Information an dem Erfassungspunkt signifikant ist für den gesamten Prozess oder des erwähnten Teils des Prozesses.

[0012] Eine Weiterbildung ist es, dass

- (a1) der Korrelationswert bestimmt wird, indem anhand historischer Daten Informationen an dem Erfassungspunkt mit den zugehörigen Prozess-Informationen korreliert werden;
- (a2) der Korrelationswert maximiert wird, indem die jeweils geringste Abweichung zwischen den Informationen an dem Erfassungspunkt und der zugehörigen Prozess-Information nicht berücksichtigt wird,
- (a3) insbesondere solange ausreichend Daten verfügbar sind oder eine vorgegebene Anzahl von Iterationen noch nicht erreicht ist, gemäß Schritt (a1) der Korrelationswert bestimmt wird.

[0013] Hierbei sei angemerkt, dass die Schritte (a1) bis (a3) für positive und negative Abweichungen in jeweils analoger Weise durchgeführt werden. Beispielsweise werden hierbei die absoluten Werte der Abweichungen verwendet.

[0014] Bei negativen Werten für diese Abweichungen kann jeweils der größte Wert gestrichen werden (anstatt des jeweils kleinsten Werts bei positiven Werten für die Abweichungen), da die Abweichung ja lediglich ein Maß für die Größe der Distanz z.B. zum optimalen Termin ist.

[0015] Schritt (a3) ist optional, d.h. die Iteration kann so lange erfolgen, bis keine Daten mehr verfügbar sind, d.h. für eine Korrelation sollten mindestens noch

zwei Datensätze zur Verfügung stehen. Vorzugsweise kann die Anzahl der verfügbaren Datensätze für ein Abbruchkriterium größer als zwei Datensätze gewählt werden, da ein linearer Zusammenhang zwischen nur zwei Punkten kaum eine statistische Aussagefähigkeit für den gesamten Datensatz hätte.

[0016] Alternativ können andere Abbruchbedingungen vorgesehen sein:

Beispielsweise kann nach einer vorgegebenen Anzahl von Iterationen das Verfahren beendet werden.

[0017] So kann der Schwellwert auf die kleinste Ist-Abweichung angehoben werden, die an dem betrachteten Erfassungspunkt registriert wurde und die sich unter den Datenpaaren befindet. Dann werden nur Datenpaare von der Korrelationsanalyse berücksichtigt, die größer als der gewählte Schwellwert sind. Der Korrelationswert wird erneut bestimmt. Dieser Vorgang kann z.B. solange wiederholt werden bis nicht mehr ausreichend Datenpaare zur Verfügung stehen, um eine Korrelationsanalyse durchführen zu können. Durch diese Vorgehensweise wird der Schwellwert an dem betrachteten Erfassungspunkt sukzessive erhöht und gleichzeitig die Anzahl der betrachteten Datenpaare verringert. Es ergibt sich ebenfalls ein Verlauf des Korrelationswertes, welcher dafür genutzt werden kann, dessen Maximum zu bestimmen. Je höher der Korrelationswert, desto größer ist der messbare, lineare Zusammenhang (d.h. die "Kausalität") zwischen einer hohen Abweichung an dem Erfassungspunkt und einer ebenfalls hohen Abweichung am Prozessende.

[0018] Eine andere Weiterbildung ist es, dass der Korrelationswert als Schwellwert für den Erfassungspunkt bestimmt wird, falls eine vorgegebene Bedingung erfüllt ist.

[0019] Beispielsweise kann bei einer gewissen Abweichung ein maximaler Korrelationswert erreicht werden. Diese Abweichung stellt dann den Schwellwert für diesen Erfassungspunkt dar.

[0020] Insbesondere ist es eine Weiterbildung, dass die vorgegebene Bedingung ein Prüfen einer starken Korrelation umfasst.

[0021] Insbesondere kann so geprüft werden, ob eine starke Korrelation vorhanden ist. Falls dies nicht gegeben ist, wird beispielsweise kein Schwellwert für diesen Erfassungspunkt angegeben.

[0022] Beispielsweise kann geprüft werden, ob der Korrelationswert größer (oder gleich) 0,5 oder 0,7 ist. Je höher der Korrelationswert desto größer ist der messbare Zusammenhang zwischen dem Ereignis an dem Erfassungspunkt und dem Ereignis z.B. am Prozessende.

[0023] Auch ist es eine Weiterbildung, dass je mindestens ein Korrelationswert für mehrere Erfassungspunkte des technischen Systems bestimmt wird.

[0024] Insbesondere kann ein Korrelationswert für alle Erfassungspunkte des technischen Systems bestimmt werden. Auch kann der Korrelationswert entsprechend für die Erfassungspunkte maximiert werden.

[0025] Ferner ist es eine Weiterbildung, dass ein oberer Schwellwert mittels eines oberen Korrelationswerts und ein unterer Schwellwert mittels eines unteren Korrelationswerts bestimmt werden.

[0026] Optional kann entweder der obere oder der untere Schwellwert bestimmt werden.

[0027] Im Rahmen einer zusätzlichen Weiterbildung umfasst der technische Prozess mindestens einen der folgenden Teile:

- einen Herstellungs- oder Fertigungsprozess,
- eine Lieferkette und/oder
- die Bereitstellung eines Produkts.

[0028] Eine nächste Weiterbildung besteht darin, dass die Informationen mindestens eine der folgenden umfassen:

- Zeitinformationen,
- Durchlaufzeiten,
- Verarbeitungszeiten,
- Herstellungszeiten,
- Bereitstellungszeiten.

[0029] Eine Ausgestaltung ist es, dass die Prozess-Informationen Informationen am Ende des technischen Prozesses sind.

[0030] Insbesondere kann es sich hierbei um Zeitinformationen am Prozessende handeln betreffend z.B. die Dauer des technischen Prozesses oder eines vorgegebenen Teils des Prozesses.

[0031] Somit kann es sich bei der Information an dem Erfassungspunkt um eine lokale Zeitinformation, die an dem Erfassungspunkt feststellbar ist, handeln. Bei der Prozess-Information kann es sich um eine globale Zeitinformation, z.B. eine Durchlaufzeit, am Prozessende handeln. Die lokale Zeitinformation und die globale Zeitinformation ergeben z.B. für ein Produkt des Prozesses ein Datenpaar, das Gegenstand der Korrelation ist.

[0032] Eine alternative Ausführungsform besteht darin, dass für die Prozess-Informationen mindestens ein Prozess-Schwellwert bestimmt wird.

[0033] Beispielsweise kann ein oberer Prozess-Schwellwert bestimmt werden, der nicht erreicht und/

oder überschritten werden sollte ohne ein kritisches Ereignis (z.B. eine verspätete Fertigstellung eines Produkts) auszulösen. Entsprechend kann ein unterer Prozess-Schwellwert bestimmt werden, der nicht erreicht und/oder unterschritten werden sollte ohne ein kritisches Ereignis (z.B. verfrühte Fertigstellung eines Produkts) auszulösen.

[0034] Beispielsweise kann ein Prozess-Schwellwert durch einen Betreiber des Prozesses oder durch einen Softwareprozess ermittelt und vorgegeben werden.

[0035] Eine nächste Ausgestaltung ist es, dass diejenigen Informationen an den Erfassungspunkten mit denjenigen Prozess-Informationen korreliert werden, die jenseits, d.h. oberhalb des oberen Prozess-Schwellwerts oder unterhalb des unteren Prozess-Schwellwerts liegen.

[0036] Demnach werden nur kritische Ereignisse betrachtet, bei denen die Schwellwerte mindestens erreicht wurden. Für solche kritischen Ereignisse werden die (lokalen) Informationen an den Erfassungspunkten betrachtet und ermittelt, ob diese mit den kritischen Ereignissen korreliert sind.

[0037] Die oben genannte Aufgabe wird auch gelöst mittels eines Verfahrens zum Betrieb eines technischen Prozesses, der wie hier beschrieben ausgelegt wurde, bei dem bei oder nach Erreichen des Schwellwerts eine vorgegebene Aktion ausgelöst und/oder ausgeführt wird.

[0038] Bei dem Erreichen des Schwellwerts kann es sich um ein Überschreiten eines oberen Schwellwerts und/oder um ein Unterschreiten eines unteren Schwellwerts handeln.

[0039] Beispielsweise kann eine geeignete Gegenmaßnahme eingeleitet werden und/oder eine Meldung ausgegeben werden. Die Meldung kann optisch, akustisch oder haptisch ausgegeben werden.

[0040] Die vorstehende Aufgabe wird auch gelöst mittels einer Vorrichtung zur Auslegung eines technischen Prozesses umfassend eine Verarbeitungseinheit, die derart eingerichtet ist, dass

- (a) ein Korrelationswert bestimmbar ist, indem anhand historischer Daten Informationen an Erfassungspunkten des technischen Prozesses mit Prozess-Informationen korreliert werden;
- (b) der Korrelationswert für die Bestimmung des Schwellwerts für den Erfassungspunkt berücksichtigt ist.

[0041] Die Verarbeitungseinheit kann insbesondere eine Prozessoreinheit und/oder eine zumindest teilweise fest verdrahtete oder logische Schaltungsanordnung sein, die beispielsweise derart eingerichtet

ist, dass das Verfahren wie hierin beschrieben durchführbar ist. Besagte Verarbeitungseinheit kann jede Art von Prozessor oder Rechner oder Computer mit entsprechend notwendiger Peripherie (Speicher, Input/Output-Schnittstellen, Ein-Ausgabe-Geräte, etc.) sein oder umfassen.

[0042] Die vorstehenden Erläuterungen betreffend das Verfahren gelten für die Vorrichtung entsprechend. Die Vorrichtung kann in einer Komponente oder verteilt in mehreren Komponenten ausgeführt sein. Insbesondere kann auch ein Teil der Vorrichtung über eine Netzwerkschnittstelle (z.B. das Internet) angebunden sein.

[0043] Eine Weiterbildung ist es, dass die Verarbeitungseinheit derart eingerichtet ist, dass der technische Prozess betreibbar ist.

[0044] Weiterhin wird zur Lösung der Aufgabe ein System oder eine Anlage vorgeschlagen umfassend mindestens eine der hier beschriebenen Vorrichtungen.

[0045] Die hierin vorgestellte Lösung umfasst ferner ein Computerprogrammprodukt, das direkt in einen Speicher eines digitalen Computers ladbar ist, umfassend Programmcode, die dazu geeignet sind, Schritte des hier beschriebenen Verfahrens durchzuführen.

[0046] Weiterhin wird das oben genannte Problem gelöst mittels eines computerlesbaren Speichermediums, z.B. eines beliebigen Speichers, umfassend von einem Computer ausführbare Anweisungen (z.B. in Form von Programmcode) die dazu geeignet sind, dass der Computer Schritte des hier beschriebenen Verfahrens durchführt.

[0047] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden schematischen Beschreibung von Ausführungsbeispielen, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Dabei können zur Übersichtlichkeit gleiche oder gleich wirkende Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen sein.

[0048] Es zeigen:

[0049] [Fig. 1](#) ein Flussdiagramm mit Schritten des hier vorgestellten Verfahrens zur Bestimmung bzw. Auslegung eines technischen Systems bzw. Prozesses, so dass kritische Ereignisse frühzeitig erkannt werden können;

[0050] [Fig. 2](#) beispielhaft über eine Menge von Erfassungspunkten (x-Achse) eine kumulierte Auftrags-

Durchlaufzeit sowie eine maximal zulässige Abweichung;

[0051] **Fig. 3** schematisch, dass sich entlang einer Auftragsbearbeitung eine bestimmte Anzahl an Erfassungspunkten befindet, die von einem Auftrag (z.B. einem Produkt) nach einer gewissen Soll-Durchlaufzeit passiert werden;

[0052] **Fig. 4** schematisch ein Diagramm mit Wertepaaren, wobei auf der x-Achse eine Durchlaufzeit am Prozessende und auf der y-Achse eine an dem Erfassungspunkt ermittelte Durchlaufzeit dargestellt sind;

[0053] **Fig. 5** einen Verlauf maximaler Korrelationswerte für die unterschiedlichen Erfassungspunkte;

[0054] **Fig. 6** maximale Korrelationswerte bei negativen und bei positiven Grenzwerten in Bezug auf die Erfassungspunkte;

[0055] **Fig. 7** obere und untere Grenzwerte in Bezug auf die Erfassungspunkte.

[0056] Moderne Lieferketten sind aufgrund hoher Komplexität und enger Kopplung anfällig gegenüber Störereignissen. Daher besteht ein Bedarf an Systemen, die Störereignisse frühzeitig erkennen und unmittelbare Reaktionen einleiten, um nachteilige Auswirkungen (z.B. auf die Liefertreue) zu vermeiden. Beispielsweise eignet sich die hier vorgestellte Lösung für Systeme, die eine Adressierung von Störungen direkt in der Produktion erlauben. Hierfür können einerseits aktuelle Statusinformationen über Objekte der Lieferkette in der Produktion genutzt werden und andererseits können Grenzwerte (auch bezeichnet als Schwellwerte) für Störungen bestimmt sein. Beispielsweise wird mit Über- oder Unterschreiten solcher Grenzwerte eine vorgegebene Aktion (z.B. ein Alarm oder eine besondere Maßnahme zur Vermeidung einer Verzögerung o.ä.) ausgelöst.

[0057] Es kann insbesondere eine Systemarchitektur verwendet werden, die eine Kopplung von Überwachungssystemen der Lieferkette mit einem Produktionsassistenzsystem ermöglicht. Für die Definition der Schwellwerte, bei deren Überschreitung entsprechend reagiert werden soll, wird mit Hilfe einer Korrelationsanalyse ein Kritikalitätsmodell entwickelt und ggf. anhand einer Simulation evaluiert. Als Resultat ist es somit möglich, dass beispielsweise optimierte Ergebnisse bei logistischen und finanziellen Kenngrößen erzielt und somit ein Mehrwert für ein produktionsbasiertes Management von Lieferkettenstörungen erreicht werden kann.

[0058] Es wird insbesondere vorgeschlagen, auf Basis aufgezeichneter Daten eine Grenzwertbestimmung für jeden einer Vielzahl von Erfassungspunkten vorzunehmen. Dies kann beispielsweise mit ei-

ner Korrelationsanalyse erreicht werden. Hierbei sei angemerkt, dass die Erfassungspunkte z.B. beliebige Messeinheiten oder Komponenten eines Prozesses, beispielsweise einer Lieferkette und/oder eines Herstellungsprozesses sein können. Vorzugsweise liefert jeder Erfassungspunkt Daten betreffend

- eine Verarbeitungsleistung oder -dauer an dem Erfassungspunkt,
- eine Zeitdauer, die angibt, wie lange eine Verarbeitungsleistung z.B. an dem Erfassungspunkt gedauert hat,
- eine Zeitinformation, die angibt, wann ein Erzeugnis oder eine Leistung an dem Erfassungspunkt eingetroffen ist bzw. bereitgestellt wurde und/oder
- eine Zeitinformation, die angibt, wann das Erzeugnis oder die Leistung den Erfassungspunkt verlässt.

[0059] Insbesondere sind unterschiedliche Arten der Zeiterfassung möglich. So können z.B. Zeitdifferenzen zwischen Erfassungspunkten anhand von Zeitschritten bestimmt werden. Auf diese Art kann beispielsweise eine Durchlaufzeit zwischen Erfassungspunkten ermittelt werden. Vorzugsweise haben hierfür die Erfassungspunkte eine synchronisierte Zeitbasis.

[0060] Am Ende des Prozesses kann eine gesamte Durchlaufzeit ermittelt werden. Insbesondere kann bestimmt werden, inwieweit eine an einem Erfassungspunkt ermittelte (lokale) Zeitinformation dazu beiträgt, dass die gesamte Durchlaufzeit oberhalb oder unterhalb eines vorgegebenen Schwellwerts liegt.

[0061] Das Verfahren wird schematisch in **Fig. 1** dargestellt und nachfolgend beispielhaft für Auftrags-Durchlaufzeiten erläutert. Entsprechend können beliebige andere Zeitinformationen für unterschiedliche Prozesse eingesetzt werden.

(1) In einem Schritt **101** werden bekannte (z.B. bereits aufgezeichnete) Daten genutzt und miteinander korreliert. Somit werden Auftrags-Durchlaufzeiten für einen Erfassungspunkt bestimmt sowie die dazugehörigen Auftrags-Durchlaufzeiten am Prozessende.

Durch einen Vergleich mit den Soll-Werten am Prozessende lassen sich daraus die Abweichungen der Auftrags-Durchlaufzeiten an dem Erfassungspunkt und an dem Prozessende ableiten.

(2) In einem Schritt **102** wird ermittelt, ob zuerst der positive oder negative Schwellwert bestimmt werden soll. Das Verfahren funktioniert in beiden Fällen in entsprechender Weise.

(3) Von den extrahierten Datenpaaren werden nun alle Daten selektiert, die eine für einen Entscheider wesentliche (positive oder negative) Abweichung am Prozessende aufgewiesen haben, d.h. deren Abweichung am Prozessende signifikant

war und vorzugsweise hätten identifiziert werden sollen. Das heißt, es wird vom Entscheider ein maximaler Schwellwert bzw. ein minimaler Schwellwert für Auftrags-Durchlaufzeiten festgelegt, die am Prozessende nicht über- bzw. unterschritten werden sollten (vergleiche Schritte **103** und **104**).

(4) In einem Schritt **105** werden die Datenpaare (Auftrags-Durchlaufzeit an dem aktuellen Erfassungspunkt mit der zugehörigen Auftrags-Durchlaufzeit am Prozessende) korreliert und in einem Schritt **106** wird der Korrelationswert gespeichert. Ziel ist es herauszufinden, ob Abweichungen an dem untersuchten Erfassungspunkt Einfluss auf die Abweichungen am Prozessende haben und wenn ja, in welcher Höhe diese Abweichungen auftreten müssen, damit ein Zusammenhang messbar ist. Hierfür wird z.B. ein Pearson Korrelationskoeffizient ($-1 < \rho < +1$) genutzt; dieser misst den linearen Zusammenhang zwischen zwei Variablen. Nimmt der Koeffizient den Wert "+1" an, so besteht ein vollständig positiver linearer Zusammenhang. Dies würde implizieren, dass höhere Abweichungen am Erfassungspunkt auch zu höheren Abweichungen am Prozessende führen.

(5) In einem Schritt **107** wird der Schwellwert auf die kleinste Ist-Abweichung angehoben, die an dem betrachteten Erfassungspunkt registriert wurde und die sich unter den Datenpaaren befindet. Da nur Datenpaare in die Korrelationsanalyse einfließen, die größer als der gewählte Schwellwert sind, wird dieses entsprechende Datenpaar somit von der Korrelationsanalyse ausgeschlossen. Es kann eine erneute Berechnung des Korrelationswertes erfolgen. Der neue Korrelationswert wird ebenfalls aufgezeichnet. Dieser Vorgang wird solange wiederholt bis nicht mehr genügend Datenpaare zur Verfügung stehen, um eine Korrelationsanalyse durchzuführen (vergleiche Abfrage **108**). Dann wird in einem Schritt **109** der Schwellwert bestimmt, bei dem der Korrelationswert maximiert wurde.

Durch diese Vorgehensweise wird der Schwellwert an dem betrachteten Erfassungspunkt sukzessive erhöht und gleichzeitig die Anzahl der betrachteten Datenpaare verringert. Es ergibt sich ebenfalls ein Verlauf des Korrelationswertes, welcher dafür genutzt werden kann, dessen Maximum zu bestimmen.

Je höher der Korrelationswert (der maximale Wert ist "+1"), desto größer ist der messbare Zusammenhang (d.h. die "Kausalität") zwischen einer hohen Abweichung an dem Erfassungspunkt und einer ebenfalls hohen Abweichung am Prozessende.

(6) Allerdings kann es vorkommen, dass keine starke Korrelation gefunden wird. In diesem Fall besteht zwischen den Auftrags-Durchlaufzeiten an dem Erfassungspunkt und den Auftrags-Durchlaufzeiten am Prozessende kein wesentlicher Zusammenhang. In diesem Fall wird der

entsprechende Erfassungspunkt nicht mit einem Schwellwert belegt. Von einer starken Korrelation spricht man beispielsweise ab einem Wert von 0,7. Dies gilt entsprechend für positive sowie negative Abweichungen. In einem Schritt **110** wird somit geprüft, ob eine starke Korrelation vorliegt. Ist dies der Fall, so wird zu einem Schritt **112** verzweigt, es wird ein Schwellwert für den aktuellen Erfassungspunkt gesetzt. Ist dies hingegen nicht der Fall, so wird in einem Schritt **111** der Schwellwert gelöscht.

Um eine hohe Performance des Ansatzes zu gewährleisten, werden vorzugsweise niedrige Korrelationswerte (z.B. $\rho \leq 0,5$) von der Analyse ausgeschlossen. An solchen Erfassungspunkten ist somit kein wesentlicher Zusammenhang zwischen den gemessenen Auftrags-Durchlaufzeiten bestimmbar. Vorzugsweise werden starke Korrelationen (z.B. $\rho > 0,5$) mit den dazugehörigen Schwellwerten verwendet.

Weiterhin sei angemerkt, dass gegen Prozessende höhere Korrelationen erzielt werden und somit mehr Schwellwerte verwendet werden können. Dies folgt aus dem Umstand, dass gegen Prozessende eher Aussagen möglich sind, ob eine Abweichung tatsächlich auch zu einem kritischen Ereignis führen wird oder nicht. Am Prozessanfang ist dieser Zusammenhang schwächer, da auch verhältnismäßig hohe Abweichungen noch kompensiert werden können.

(7) Der gesamte Vorgang wird für alle Erfassungspunkte des Prozesses wiederholt. So wird in einem der Schritten **111** bzw. **112** folgender Schritt **113** geprüft, ob ein positiver und ein negativer Schwellwert bestimmt wurde. Ist dies nicht der Fall, wird zu dem Schritt **102** verzweigt und der jeweils andere (positive oder negative) Schwellwert bestimmt. Ist die Bedingung hingegen erfüllt, so wird von dem Schritt **113** zu einem Schritt **114** verzweigt und geprüft, ob noch weitere Erfassungspunkte vorhanden sind. Sind noch weitere Erfassungspunkte vorhanden, wird zu dem Schritt **101** verzweigt, ansonsten wird das Verfahren beendet (siehe Zustand **115**).

[0062] Anhand dieses Ansatzes kann die Effektivität einer prädiktiven Erkennung signifikanter Abweichungen deutlich erhöht werden. Die Korrelationsanalyse kann verwendet werden, um positive sowie negative Schwellwerte für Erfassungspunkte entlang eines Prozesses oder einer Lieferkette zu bestimmen.

[0063] Beispielsweise kann eine termingerechte, deterministische Planung, wie sie in einem Unternehmen angestrebt wird, durch stochastisch auftretende Ereignisse (sogenannte "Events") stark beeinflusst werden. Ein kritisches Ereignis kann dabei eine Statusveränderung eines eindeutig identifizierten Objekts (Merkmalsveränderungen, Koordinaten in Raum und Zeit) sein, die von bestimmten Adressa-

ten einer Lieferkette als wesentlich erachtet werden. Weicht also ein Ist-Zustand über einen Grenzwert (auch bezeichnet als Schwellwert) von einem Soll-Zustand ab, so liegt ein kritisches Ereignis vor, das bspw. eine vorgegebene Aktion erforderlich macht. Bei dem kritischen Ereignis kann es sich sowohl um eine Zielunter- als auch um eine Zielüberschreitung handeln. Folglich können Ereignisse in negativer und positiver Form als eine Fehl- bzw. Überleistung der Prozesskette in Erscheinung treten. Für die Beherrschung von (kritischen) Ereignissen gibt es präventive und reaktive Maßnahmen. Während ersteres die Eintrittswahrscheinlichkeit von Ereignissen verringert ("Supply Chain Risk Management"), sollen mit letzterem die negativen Auswirkungen nach Eintritt eines kritischen Ereignisses kompensiert werden.

[0064] Insbesondere ist es ein Ziel, auf kritische Ereignisse (Störungen, sog. Events) ohne vermeidbaren Zeitverzug, adäquat zu reagieren, um so die Auswirkungen auf die Versorgungskette ("Supply Chain") so gering wie möglich zu halten.

[0065] Ein Produktionsassistenzsystem (PAS) kann hierbei die folgenden Funktionalitäten aufweisen:

- Überwachen;
- Melden;
- Simulieren;
- Steuern;
- Messen.

Beispiel einer Systemarchitektur

[0066] Nachfolgend wird eine generische Architektur zur Integration von logistischen Überwachungssystemen in die Fertigungsleitebene auf Basis eines Produktionsassistenzsystems (PAS) beschrieben. Ziel hierbei ist die Breitstellung von Objektverfolgungsdaten aus der Lieferkette zur Optimierung einer Fertigungsauftragssteuerung.

[0067] Beispielsweise kann eine Systemarchitektur auf Standards basieren. So nutzt die Systemarchitektur beispielsweise einen Bedarf nach einer unternehmensübergreifenden Objektverfolgung, die mittels standardisierter Datenstrukturen und Kommunikationsprotokolle bereitgestellt werden kann. Hierzu können z.B. Transponder am Objekt und/oder an einer Erfassungsinfrastruktur vorgesehen sein oder es können Objektbewegungsinformationen auf andere Arten (z.B. mittels Kameras, Sensoren, etc.) geeignet erfasst und/oder ausgewertet werden.

[0068] Im Hinblick auf RFID-Datenmanagement sei beispielhaft auf ein EPC Netzwerk (EPC: Electronic Product Code, auf Deutsch: elektronischer Produktcode) verwiesen. Das EPC Netzwerk umfasst Standards betreffend ein Nummerierungssystem (EPC) für zu verfolgende physische Objekte, über die für den Datenaustausch notwendigen Schnittstellen bis

hin zu unternehmensübergreifenden Datenstrukturen.

[0069] Hierbei ist die Verwendung der Objektbewegungsdaten in einer Anwendung (z.B. in einem PAS) nicht Gegenstand des Standards. Diese muss spezifisch für jede Klasse von Anwendungen bzw. Verwendungsszenarien bereitgestellt werden.

[0070] Beispielhaft sei im Rahmen der vorliegenden Lösung auf die Normen ISA 95 bzw. IEC 62264 verwiesen, die Funktionalitäten eines Manufacturing Execution Systems (MES) als der Schnittstelle zwischen Unternehmens- und Kontrollebene definieren.

[0071] RFID-basierte Überwachungssysteme haben (z.B. aufgrund der Fähigkeiten von Sensor-Transpondern) die Möglichkeit, eine Vielzahl an Eigenschaften auszulesen. Problematisch sind hierbei insbesondere Terminabweichungen entlang einer Prozesskette. Solche Terminabweichungen können pro Erfassungspunkt entlang der Prozesskette unscheinbar sein und für sich genommen nur ungenaue Aussagen über ihre Signifikanz hinsichtlich einer Terminabweichung am Prozessende zulassen. Dies erschwert eine Schwellwert-Definition (z.B. noch zulässiger Terminabweichungen oder gerade nicht mehr zulässiger Terminabweichungen) an den einzelnen Erfassungspunkten eines Überwachungssystems im Vergleich zu eindeutigen Störfällen (Ausfall einer Station der Prozesskette).

[0072] Beispielsweise können sich Abweichungen von der Soll-Auftrags-Durchlaufzeit aufgrund der Prozessvariabilitäten über die Auftrags-Durchlaufzeit kumulieren sowie kompensieren. Daraus resultiert eine Dynamik, die eine Grenzwertbestimmung für die Identifikation kritischer Terminabweichungen erschwert, da sich vermutete, kritische Abweichungen über die Zeit wieder relativieren können.

[0073] Ein Ansatz für die Grenzwertbestimmung ist die Definition einer maximal zulässigen Terminabweichung von der geplanten Auftrags-Durchlaufzeit in positiver und in negativer Richtung.

[0074] [Fig. 2](#) illustriert beispielhaft das Konzept für eine durchschnittliche Auftrags-Durchlaufzeit von 5000 Zeiteinheiten und einer maximal zulässigen Abweichung von 10% in beide Richtungen. Hierzu ist auf einer Achse **203** die Abweichung von der Auftrags-Durchlaufzeit und auf einer Achse die **204** die Auftrags-Durchlaufzeit dargestellt. Auf der x-Achse sind die Erfassungspunkte eingetragen (von links nach rechts nimmt die Zahl der Erfassungspunkte zu).

[0075] Es kann nun ein Vergleich zwischen den Vorgaben aus der Planung mit den Ist-Daten der Überwachungssysteme durchgeführt werden. Wird ein Auftrag an einem Erfassungspunkt (auch bezeichnet

als Lesepunkt) erfasst und liegt die registrierte Abweichung nach dem Abgleich über 10% von der bisher vorgesehen Auftrags-Durchlaufzeit, würde ein Alarm ausgelöst. Der Ansatz resultiert in einer trichterförmigen Steigerung der Grenzwerte (siehe Kurven **205**, **206**) bis auf die maximal tolerierte Abweichung am Prozessende. Aufgrund einer Vernachlässigung der Kompensationsmöglichkeiten ist hier beispielhaft die Dynamik der Terminabweichungen nur in begrenztem Maße berücksichtigt.

[0076] Ein Bereich **201** zwischen der Abweichung 0 und der Kurve **205** kennzeichnet unkritische Verspätungen, ein Bereich **202** zwischen der Abweichung 0 und der Kurve **206** kennzeichnet unkritische verfrühte Durchläufe.

[0077] Kritikalitätsmodell zur dynamischen Grenzwertbestimmung Der hier vorgestellte Ansatz basiert beispielsweise auf der Annahme, dass verschiedene Teilschritte innerhalb einer Auftragsabarbeitung auch verschiedene Ausprägungen von Durchlaufzeit-relevanten Eigenschaften besitzen.

[0078] So kann sich eine hohe Variabilität der Durchlaufzeit eines Teilschrittes tendenziell stärker auf eine Terminabweichung auswirken als Teilschritte mit niedrigerer Variabilität. Beispielsweise können Variabilitäten eines Lagerprozesses weniger stark auf die Auftrags-Durchlaufzeit wirken als Just-In-Sequence Anlieferungen (Anlieferungen unter Berücksichtigung einer Reihenfolgensynchronität).

[0079] Auftrags-Durchlaufzeiten können bei Prozessen deterministischer oder stochastischer Natur sein.

[0080] **Fig. 3** zeigt schematisch, dass sich entlang einer Auftragsbearbeitung eine bestimmte Anzahl M an Erfassungspunkten r_M befindet, die von einem Auftrag (z.B. einem Produkt) nach einer gewissen Soll-Durchlaufzeit passiert werden sollten. Zwischen zwei Erfassungspunkten r_i und r_{i+1} werden Prozesse unterschiedlich stabil ausgeführt, wodurch sich unterschiedliche Durchlaufzeiten ergeben. Hieraus folgen an manchen Erfassungspunkten eher hohe Terminabweichungen, während an anderen diese Abweichungen weniger stark ausfallen. Da sich niedrige Abweichungen während des Prozessverlaufs eher kompensieren lassen als hohe, werden hohe Abweichungen der Durchlaufzeit an den Erfassungspunkten auch tendenziell zu hohen Lieferterminabweichungen am Prozessende führen. In **Fig. 3** sind mehrere Erfassungspunkte r_0 bis r_M dargestellt, zwischen einem Erfassungspunkt r_i und dem vorherigen Erfassungspunkt r_{i-1} verstrich die Durchlaufzeit DLZ_i . Die Durchlaufzeit am Prozessende wird mit DLZ_p bezeichnet.

[0081] Diesem Zusammenhang wird mit dem Korrelationsansatz zur dynamischen Grenzwertbestimmung

gefolgt. **Fig. 4** zeigt schematisch ein Diagramm mit Wertepaaren, wobei auf der x-Achse eine Durchlaufzeit DLZ_p am Prozessende und auf der y-Achse eine an dem Erfassungspunkt r_m ermittelte Durchlaufzeit DLZ_m dargestellt sind. Weiterhin ist in **Fig. 4** eine Gerade **401** eingetragen, die einen Korrelationskoeffizienten $\rho = 0,6$ veranschaulicht.

[0082] Zuerst werden alle Ist-Abweichungen von Durchlaufzeiten an dem Erfassungspunkt r_m extrahiert, die größer als ein bestimmter Ausgangsgrenzwert **402** waren. Diese Ist-Durchlaufzeiten an dem Erfassungspunkt r_m werden dann mit ihrer entsprechenden, endgültigen Lieferterminabweichung am Prozessende (Durchlaufzeit DLZ_p am Prozessende) korreliert. Daraus ergibt sich ein erster Korrelationswert ρ_m .

[0083] In einem nächsten Schritt wird der Ausgangsgrenzwert **402** auf das Niveau der Ist-Abweichung des Auftrages angehoben, der die nächst kleinste Ist-Abweichung an dem Erfassungspunkt r_m aufweist. Dieser (Grenz-)Wert wird dadurch von der Menge der Ist-Durchlaufzeiten ausgenommen (die alle größer als dieser Grenzwert sind).

[0084] Es wird erneut eine Korrelation durchgeführt. Ist der neue Korrelationswert größer als der vorherige, so wird der neue Korrelationswert übernommen. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis keine ausreichende Anzahl Werte für eine Korrelationsanalyse zur Verfügung steht und der maximale Korrelationswert feststeht. Ein größerer Korrelationswert lässt einen stärkeren Zusammenhang zwischen der Durchlaufzeit an dem Erfassungspunkt r_m und der Durchlaufzeit DLZ_p am Prozessende vermuten.

[0085] Führt man diese Analyse für alle Erfassungspunkte r_m durch, ergeben sich die maximalen Korrelationswerte für jeden Erfassungspunkt und somit für das gesamte Prozesssystem. Dies ist in **Fig. 5** dargestellt: Auf der x-Achse sind die Erfassungspunkte r_m und auf der y-Achse die zugehörige maximale Korrelation pro Erfassungspunkt eingetragen.

[0086] Wie bereits ausgeführt wurde, erfolgt die Abschätzung der "Kritikalität" einer Laufzeitabweichung anhand historischer (gesammelter oder aufgezeichneter) Daten. Derartige Daten umfassen Ist-Abweichungen der einzelnen Aufträge von den Vorgabewerten, die an den einzelnen Erfassungspunkten sowie am Prozessende aufgezeichnet wurden.

[0087] **Fig. 6** und **Fig. 7** zeigen das Ergebnis der dynamischen Grenzwertbestimmung für die einzelnen Erfassungspunkte des Überwachungssystems. Eine Kurve **601** stellt die maximalen Korrelationswerte bei negativen Grenzwerten und eine Kurve **602** stellt die maximalen Korrelationswerte bei positiven Grenzwerten dar. Entsprechend zeigt eine Kurve **701**

die oberen Grenzwerte der jeweiligen Erfassungspunkte und eine Kurve **702** die unteren Grenzwerte der jeweiligen Erfassungspunkte. Abweichungen unterhalb der Kurve **701** und oberhalb der Kurve **702** können somit als unkritisch klassifiziert werden.

[0088] Fig. 7 zeigt auch, dass einige Grenzwerte recht gering ausfallen. Die Ursache hierfür liegt in den vergleichsweise niedrigen Korrelationen an diesen Erfassungspunkten (vgl. hierzu Fig. 6), was auf schwache Zusammenhänge zwischen den Ist-Abweichungen der Laufzeiten an den Erfassungspunkten und den Durchlaufzeiten DLZ_p am Prozessende rückschließen lässt. Mit anderen Worten, an diesen Erfassungspunkten ist eine gemessene Laufzeitabweichung wenig kausal für eine kritische Laufzeitabweichung am Prozessende.

[0089] Somit ist es ein Option, nur solche Korrelationskoeffizienten zu berücksichtigen, die größer als ein vorgegebener Mindestwert sind und eine gewisse Kausalität annehmen lassen. Beispielsweise können Korrelationskoeffizienten berücksichtigt werden, die größer als 0,5 sind.

[0090] Je höher der Korrelationswert, desto strenger ist die Auswahl der relevanten Grenzwerte und desto mehr Punkte des Überwachungssystems werden vernachlässigt.

Weitere Vorteile:

- (a) Der Ansatz ist vollständig automatisierbar und kann z.B. mittels Software und/oder Hardware implementiert werden. Bei dem Entscheider kann es sich um einen Software-Prozess handeln, anhand dessen z.B. eine maximal zulässige Abweichung am Prozessende bestimmt bzw. vorgegeben wird.
- (b) Sobald zusätzliche Daten vorliegen, kann die Bestimmung der Schwellwerte erneut durchgeführt werden. Damit kann eine Verfeinerung bzw. Anpassung der Schwellwerte erreicht werden. Dies ist insbesondere von Vorteil, da sich die Prozessstabilität verändern kann und somit auch die Schwankungen über die Zeit unterschiedlich stark ausfallen können.
- (c) Der Ansatz ermöglicht aufgrund hoher Transparenz eine große Benutzerakzeptanz und berücksichtigt dennoch dynamische Aspekte der Prozesse.
- (d) Die Bestimmung der Schwellwerte ist flexibel und kann insbesondere robust ausfallen, da der vorgestellte Ansatz vergleichsweise hohe Schwellwerte ermöglicht. Insbesondere können nur solche Aussagen von Erfassungspunkten gewählt werden, die eine ausreichende Signifikanz aufweisen, d.h. für die ein Zusammenhang zwischen der Abweichung an dem Erfassungspunkt und der Abweichung am Prozessende mit hoher Korrelation feststellbar ist. Dadurch kann bei ei-

ner Über- bzw. Unterschreitung der Grenzwerte mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass auch am Prozessende ein kritisches Ereignis vorliegen wird. So können wirksam Fehlalarme reduziert oder gar vermieden werden.

[0091] Obwohl die Erfindung im Detail durch das mindestens eine gezeigte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht darauf eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Normen ISA 95 [\[0070\]](#)
- IEC 62264 [\[0070\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Auslegung eines technischen Prozesses,

(a) bei dem ein Korrelationswert bestimmt wird, indem anhand historischer Daten Informationen an Erfassungspunkten des technischen Prozesses mit Prozess-Informationen korreliert werden;

(b) bei dem der Korrelationswert für die Bestimmung des Schwellwerts für den Erfassungspunkt herangezogen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

(a1) bei dem der Korrelationswert bestimmt wird, indem anhand historischer Daten Informationen an dem Erfassungspunkt mit den zugehörigen Prozess-Informationen korreliert werden;

(a2) bei dem der Korrelationswert maximiert wird, indem die jeweils geringste Abweichung zwischen den Informationen an dem Erfassungspunkt und der zugehörigen Prozess-Information nicht berücksichtigt wird,

(a3) bei dem insbesondere solange ausreichend Daten verfügbar sind oder eine vorgegebene Anzahl von Iterationen noch nicht erreicht ist, gemäß Schritt (a1) der Korrelationswert bestimmt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Korrelationswert als Schwellwert für den Erfassungspunkt bestimmt wird, falls eine vorgegebene Bedingung erfüllt ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die vorgegebene Bedingung ein Prüfen einer starken Korrelation umfasst.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem je mindestens ein Korrelationswert für mehrere Erfassungspunkte des technischen Systems bestimmt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein oberer Schwellwert mittels eines oberen Korrelationswerts und ein unterer Schwellwert mittels eines unteren Korrelationswerts bestimmt werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der technische Prozess umfasst:

- einen Herstellungs- oder Fertigungsprozess,
- eine Lieferkette und/oder
- die Bereitstellung eines Produkts.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Informationen mindestens eine der folgenden umfassen:

- Zeitinformationen,
- Durchlaufzeiten,
- Verarbeitungszeiten,
- Herstellungszeiten,

– Bereitstellungszeiten.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Prozess-Informationen Informationen am Ende des technischen Prozesses sind.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem für die Prozess-Informationen mindestens ein Prozess-Schwellwert bestimmt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem diejenigen Informationen an den Erfassungspunkten mit denjenigen Prozess-Informationen korreliert werden, die oberhalb oder unterhalb des vorgegebenen Prozess-Schwellwerts liegen.

12. Verfahren zum Betrieb eines technischen Prozesses, der nach einem der vorhergehenden Ansprüche ausgelegt wurde, bei dem bei oder nach Erreichen des Schwellwerts eine vorgegebene Aktion ausgelöst und/oder ausgeführt wird.

13. Vorrichtung zur Auslegung eines technischen Prozesses umfassend eine Verarbeitungseinheit, die derart eingerichtet ist, dass

(a) ein Korrelationswert bestimmbar ist, indem anhand historischer Daten Informationen an Erfassungspunkten des technischen Prozesses mit Prozess-Informationen korreliert werden;

(b) der Korrelationswert für die Bestimmung des Schwellwerts für den Erfassungspunkt berücksichtigbar ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, bei der die Verarbeitungseinheit derart eingerichtet ist, dass der technische Prozess betreibbar ist.

15. System oder Anlage umfassend mindestens eine Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 13 oder 14.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

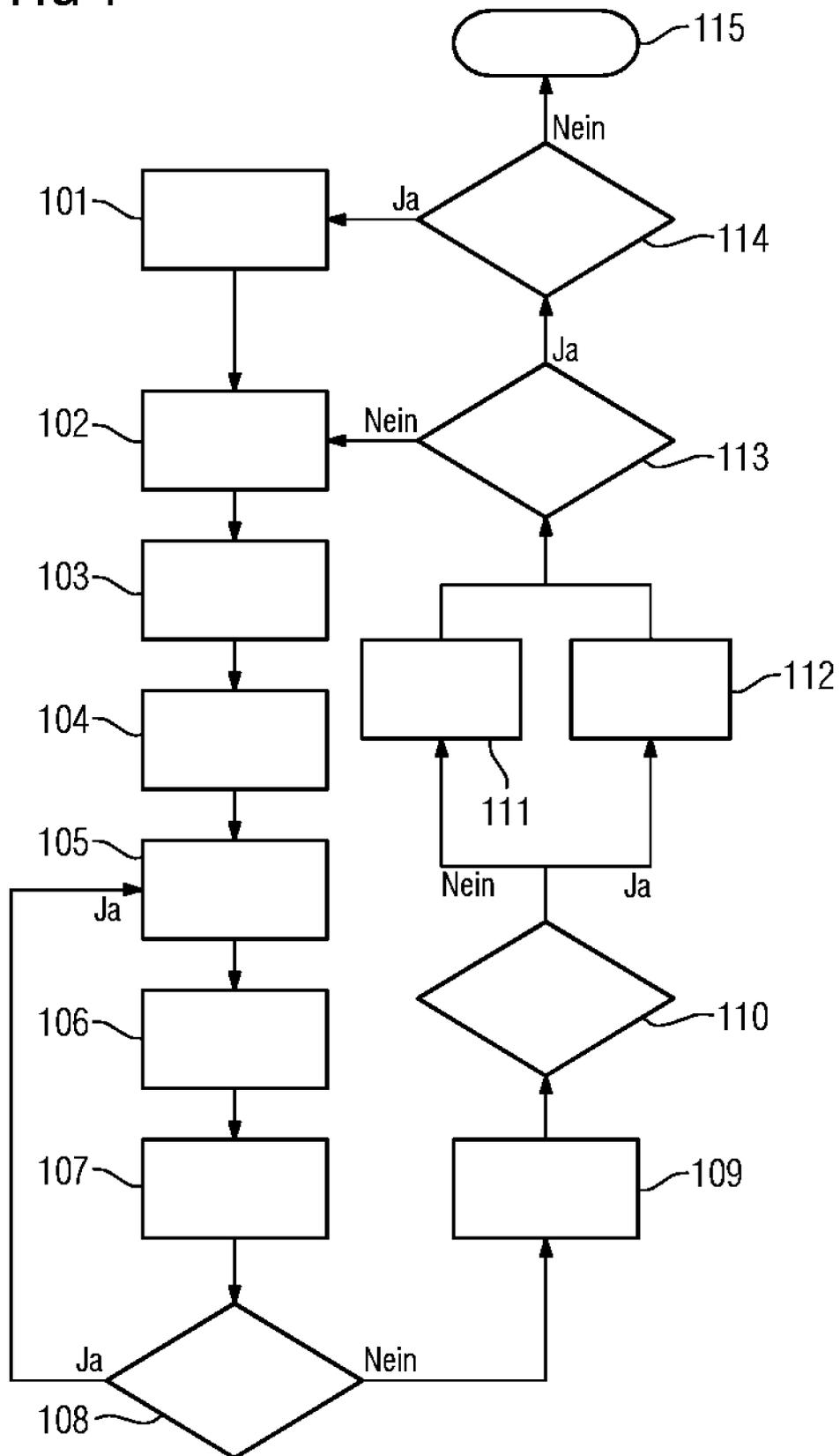


FIG 2

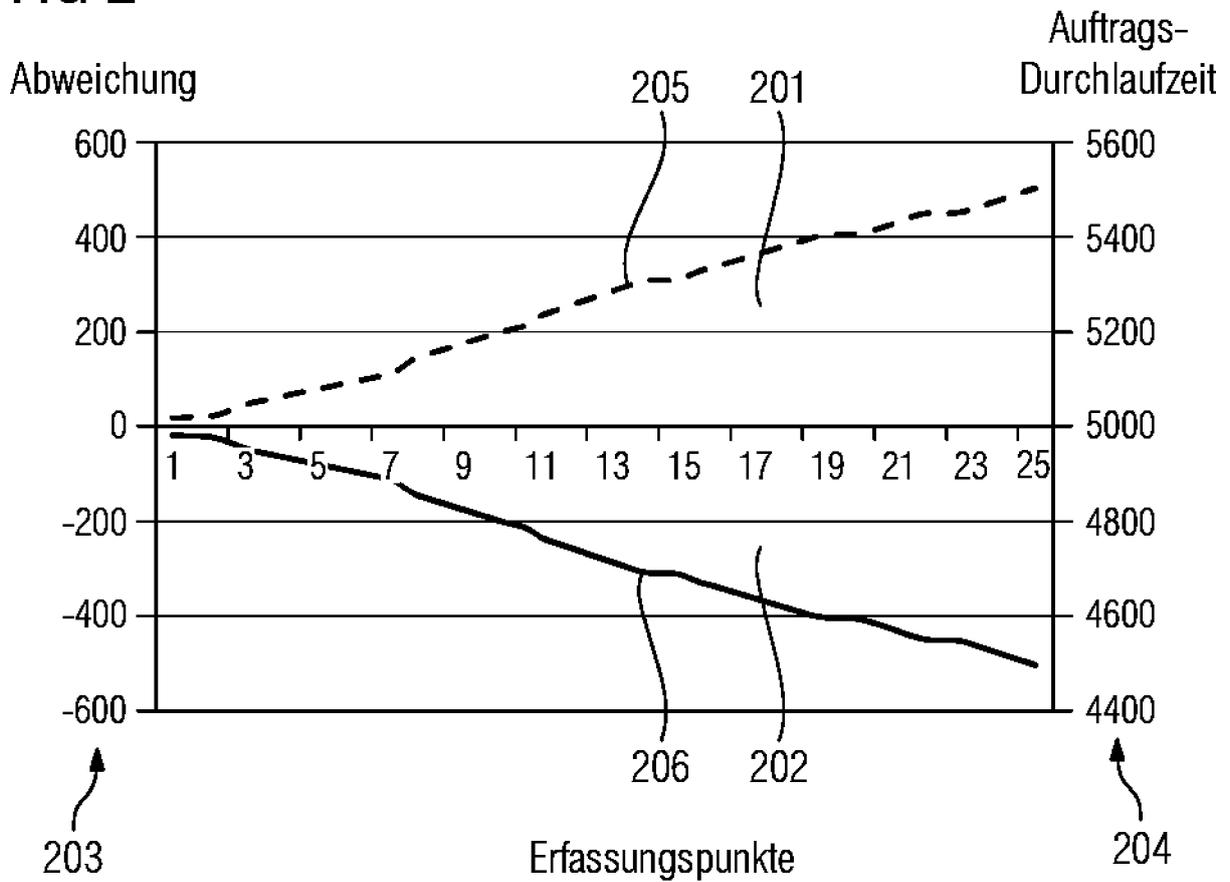


FIG 3

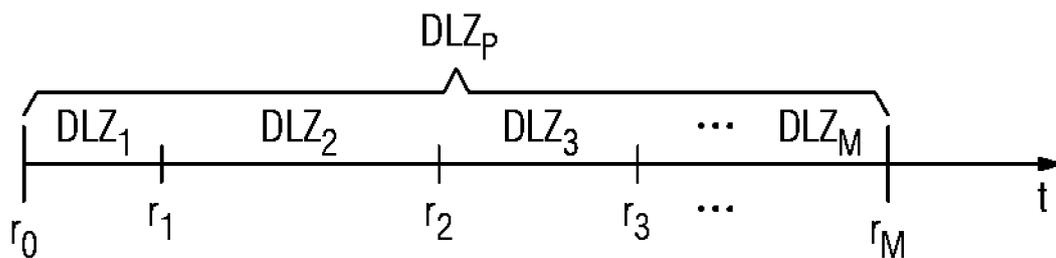


FIG 4

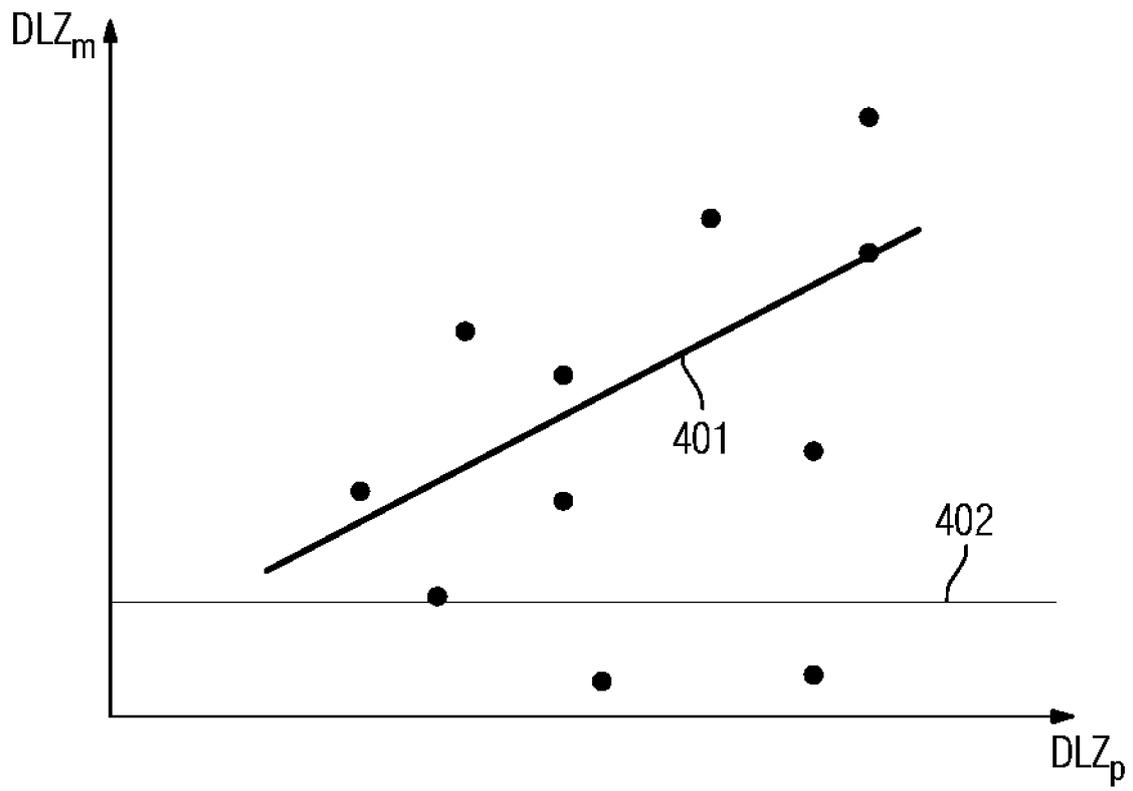


FIG 5

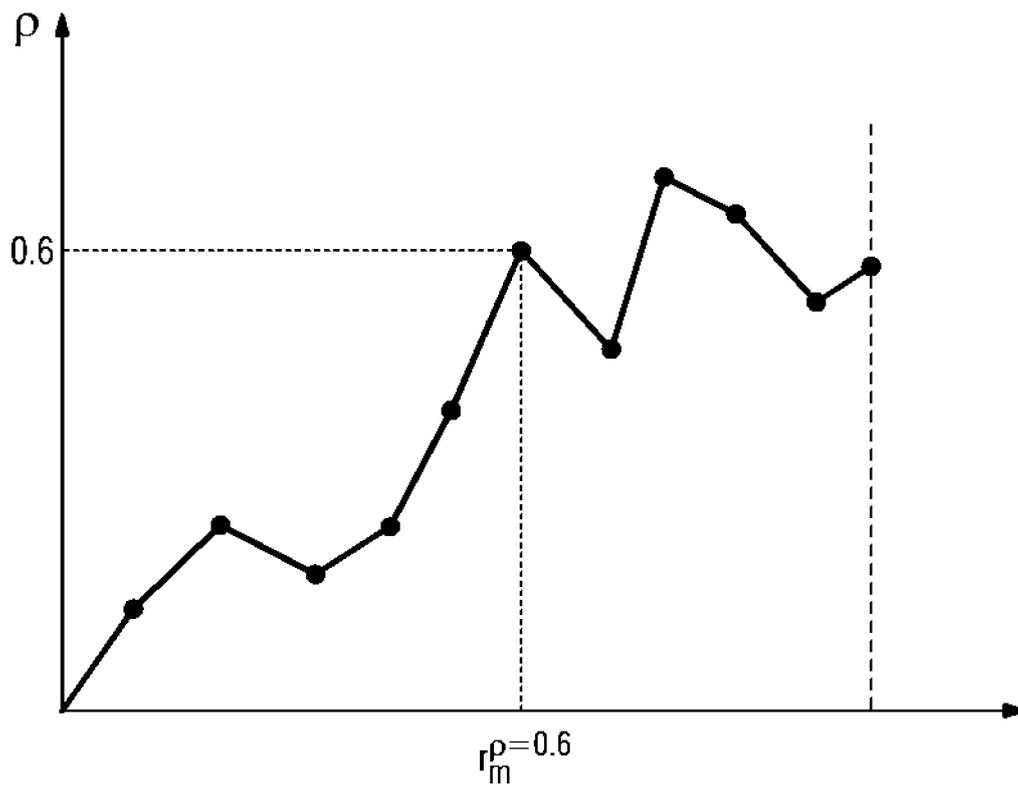


FIG 6

Maximale Korrelationen

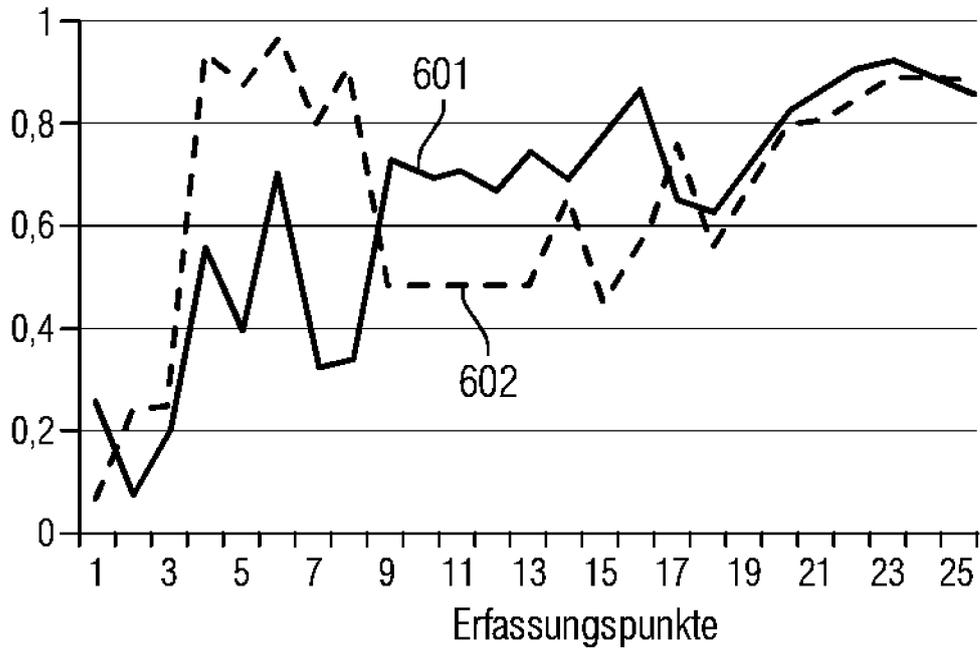


FIG 7

Abweichung

Auftrags-Durchlaufzeit

