



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 19 349 T2** 2006.01.19

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 321 840 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G05B 23/02** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 19 349.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 002 548.0**

(96) Europäischer Anmeldetag: **30.06.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **25.06.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **06.04.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **19.01.2006**

(30) Unionspriorität:

346060 01.07.1999 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:

Honeywell Inc., Morristown, N.J., US

(72) Erfinder:

**Jamieson, Gregory A., Fridley, Minnesota 55432,
US; Bullemer, Peter T., Golden Valley, Minnesota
55427, US; Guerlain, Stephanie A. E., White Bear
Lake, Minnesota 55110, US**

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: **Multivariable Prozesstrendanzeige und darauf abgestimmtes Verfahren**

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

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein die Prozeßsteuerung und insbesondere graphische Benutzeroberflächen und Anzeigen für die Prozeßsteuerung.

[0002] Es kommen Anzeigentechnologien auf, die für vielfältige Anwendungen wichtig sind. Zum Beispiel wurden verschiedene graphische Benutzeroberflächen und Anzeigen für die persönliche Datenverarbeitung, Finanzdienststanwendungen usw. entwickelt. Jüngste Fortschritte in der Hardware- und Softwaretechnologie ermöglichen die Entwicklung leistungsstarker graphischer Benutzeroberflächen.

[0003] Es werden zur Zeit verschiedene Typen von Prozeßsteuersystemen verwendet, wie zum Beispiel die Steuerung von Prozessen, die unter der Kontrolle einer einzigen Variablen betreibbar sind, bis hin zu Prozessen, die mit Steuerungen gesteuert werden, die mehrere Variablen steuern können. Die Steuerung eines Prozesses wird häufig unter Verwendung von mikroprozessorgestützten Steuerungen, Computern oder Workstations implementiert, die den Prozeß überwachen, indem sie Befehle und Daten zu Hardwareeinrichtungen senden und von diesen empfangen, um entweder einen bestimmten Aspekt des Prozesses oder den gesamten Prozeß als Ganzes zu steuern. Zum Beispiel verwenden viele Prozeßsteuersysteme Instrumente, Steuereinrichtungen und Kommunikationssysteme zur Überwachung und Manipulation von Steuerelementen, wie zum Beispiel Ventilen und Schaltern, um einen oder mehrere Prozeßvariablenwerte (z.B. Temperatur, Druck, Strömung und dergleichen) auf gewählten Zielwerten zu halten. Die Prozeßvariablen werden ausgewählt und gesteuert, um ein gewünschtes Prozeßziel, wie zum Beispiel einen sicheren und effizienten Betrieb von in dem Prozeß verwendeten Maschinen und Geräten, zu erreichen. Prozeßsteuersysteme finden vielfältig Anwendung bei der Automatisierung industrieller Prozesse, wie zum Beispiel der in der chemischen, Öl- und Produktionsindustrie verwendeten Prozesse.

[0004] In den letzten Jahren wurden fortschrittliche Prozeßsteuersysteme zur Steuerung von Mehrvariablenprozessen entwickelt. Eine Art von Prozeß basiert zum Beispiel auf der Konfiguration oder Programmierung erweiterter Steuerungen auf der Basis von Wissen des Technikers bzw. von Technikern (z.B. mit Vorwärtskopplungs-, Signalauswahl- und Kalkulationsblöcken), um eine Prozeßanlage kontinuierlich in Richtung eines bestimmten bekannten Betriebszustands zu steuern. Eine andere Art erweiterter Prozeßsteuerung ist die auf Modellen basierende prädiktive Steuerung. Techniken der auf Modellen basierenden prädiktiven Steuerung haben aufgrund ihrer Fähigkeit, Mehrvariablen-Steuerziele bei Anwesenheit von Totzeit, Prozeßnebenbedingungen und Mo-

dellierungsunbestimmtheiten Mehrvariablen-Steuerziele zu erreichen, große Akzeptanz in der Prozeßindustrie gefunden.

[0005] Im allgemeinen gehören zu Techniken der auf Modellen basierenden prädiktiven Steuerung Algorithmen, die Steuerbewegungen als Lösung für ein Optimierungsproblem zur Minimierung von Fehlern unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen, die entweder vom Benutzer oder durch das System auferlegt werden, berechnen. Ein Algorithmus der auf Modellen basierenden prädiktiven Steuerung kann im allgemeinen mit Bezug auf einen Mehrvariablenprozeß beschrieben werden. Im allgemeinen umfaßt die auf Modellen basierende prädiktive Steuerung zwei Hauptteile: erstens wird mit einem Optimierungsprogramm die beste Stelle zum Ablaufenlassen des Prozesses im stationären Zustand definiert und zweitens definiert ein dynamischer Steueralgorithmus, wie der Prozeß auf glatte Weise ohne Verletzung etwaiger Nebenbedingungen zu dem stationären Optimum bewegt werden kann. Zum Beispiel betrachtet mit einer spezifizierten Frequenz von z.B. einmal pro Minute der Optimierer den aktuellen Zustand des Prozesses und berechnet ein neues Optimum. Von dem Optimierer weiß die Steuerung, wo sich die Prozeßvariablen im stationären Endzustand befinden sollten. Der Steueralgorithmus berechnet dann eine dynamische Menge von Änderungen für die Prozeßvariablen, um den Prozeß ohne dynamische Verletzungen von Nebenbedingungen auf glatte Weise in den stationären Zustand zu überführen. Zum Beispiel können für eine Prozeßvariable 60–120 Steuerbewegungen in die Zukunft hinein berechnet werden. Im allgemeinen wird eine dieser berechneten Steuerbewegungen implementiert und der Rest weggeworfen. Diese Schritte werden dann reiteriert. Das Steuerziel für die auf Modellen basierende prädiktive Steuerung besteht im allgemeinen darin, durch Berechnung unter Verwendung eines auf ökonomischen Werten basierenden Modells optimale gesteuerte Variablen zu gewährleisten.

[0006] Die auf Modellen basierende prädiktive Steuerung wird unter Verwendung von Produkten durchgeführt, die von mehreren Firmen erhältlich sind. Zum Beispiel wird die auf Modellen basierende prädiktive Steuerung durch ein DMC-Produkt (Dynamic Matrix Control) durchgeführt, das von Aspen Tech (Cambridge, MA) erhältlich ist, und durch ein RMPCT-Produkt (Robust Multivariable Predictive Control Technology), das von Honeywell Inc. (Minneapolis, MN) erhältlich ist, und das ein Steueranwendungsprodukt mit mehreren Eingängen und mehreren Ausgängen ist, das hochinteraktive industrielle Prozesse zum Beispiel bei Verwendung in geeigneten automatisierten Steuersystemen steuert und optimiert.

[0007] Eine auf Modellen basierende prädiktive

Steuerung enthält im allgemeinen drei Arten von Variablen: nämlich gesteuerte Variablen (CVs), manipulierte Variablen (MVs) und Störungsvariablen (DVs) (die manchmal auch als Vorwärtskopplungsvariablen (FFs) bezeichnet werden). Gesteuerte Variablen sind die Variablen, die die Steuerung versucht, innerhalb von Nebenbedingungen zu halten. Ferner kann es auch erwünscht sein, einen Teil der gesteuerten Variablen zu minimieren oder zu maximieren (z.B. die Förderdurchsatzprozeßvariable zu maximieren). Manipulierte Variablen sind die Variablen, wie zum Beispiel Ventile, die die Steuerung öffnen und schließen kann, um zu versuchen, ein Ziel der Steuerung (z.B. Maximierung des Förderdurchsatzes) zu erzielen, während alle gesteuerten Variablen innerhalb ihrer Nebenbedingungen gehalten werden. Störvariablen sind die Variablen, die gemessen, aber nicht gesteuert werden können. Steuerungsvariablen helfen der Steuerung durch Bereitstellen notwendiger Informationen, wie zum Beispiel Informationen bezüglich bestimmter Faktoren wie etwa der Außenlufttemperatur. Die Steuerung kann dann erkennen, wie sich solche Faktoren auf andere Prozeßvariablen in der Steuerung auswirken werden, um so besser vorherzusagen, wie die Anlage auf gemessene Störungen reagieren wird.

[0008] Einem Benutzer der auf Modellen basierenden prädiktiven Steuerung (z.B. einem Techniker, einem Bediener usw.) wurden gewöhnlich verschiedene Arten von Informationen bezüglich der verschiedenen Prozeßvariablen bereitgestellt, darunter Informationen bezüglich der gesteuerten Variablen, manipulierten Variablen und Störungsvariablen. Zum Beispiel wurden einem Benutzer in der Vergangenheit mittels verschiedener Schnittstellen und Anzeigen Informationen wie zum Beispiel vorhergesagte Werte, aktuelle Werte und andere relationale Informationen von Variablen in bezug auf andere Variablen gegeben. Der Benutzer kann auf verschiedene Weisen solche Informationen überwachen und mit der Steuerung in Dialog treten. Zum Beispiel kann der Benutzer die Steuerung ein- und ausschalten, einzelne Prozeßvariablen in die Steuerung einbeziehen und aus dieser herausnehmen, verschiedene Arten von in der Steuerung enthaltenen Prozeßvariablen auferlegten Grenzen ändern (z.B. Unter- oder Obergrenzen für einzelne Prozeßvariablen ändern), das Modell der Steuerung ändern usw.

[0009] Damit der Benutzer jedoch die Gesamtintegrität der Steuerung effektiv überwachen und auf die erforderliche Weise mit der Steuerung in Dialog treten kann (z.B. Ändern von Grenzen von Prozeßvariablen), müssen dem Benutzer jedoch geeignete Steuerungsinformationen präsentiert werden. Zum Beispiel sollten einem die Steuerung überwachenden Bediener Informationen bezüglich der Beziehung zwischen manipulierten Variablen und gesteuerten Variablen, der Grenzen, auf die Prozeßvariablen be-

schränkt werden, der aktuellen Werte der verschiedenen Prozeßvariablen usw. präsentiert werden. Solche Informationen sollten auf eine solche Weise präsentiert werden, daß ein Benutzer die Leistungsfähigkeit des Prozesses effektiv verstehen und zum Beispiel in der Lage sein kann, Probleme in dem Prozeß zu erkennen und zu lösen. Obwohl verschiedene Arten von Schirmanzeigen zum Präsentieren von Informationen bezüglich der Steuerung für einen Benutzer verwendet wurden (z.B. die in der Honeywell-Produktpublikation mit dem Titel „Robust Multivariable Predictive Control Technology – RMPCT Users Guide for TPS (6/97)“ beschriebenen, auf die hiermit ausdrücklich und vollständig Bezug genommen wird und die im folgenden als „Honeywell-Benutzerhandbuch“ bezeichnet wird), so daß der Benutzer Parameter in bezug auf eine oder mehrere Prozeßvariablen in dem dadurch gesteuerten Prozeß überwachen und manipulieren kann, war die Effektivität einer solchen Schnittstelle mangelhaft und die Benutzer können Schwierigkeiten haben, die erforderlichen Überwachungs- und Steuerfunktionen durchzuführen.

[0010] Eine Schwierigkeit bei der parallelen Überwachung mehrerer dynamischer Prozeßvariablen besteht zum Beispiel darin, daß im allgemeinen viel Schirmgrundfläche der Präsentation von Textdaten in bezug auf solche Prozeßvariablen gewidmet werden muß. Dies ist insbesondere ein Problem für Bediener zum Beispiel von nuklearen, chemischen und petrochemischen Anlagen, bei denen die Anzahl dynamischer Prozeßvariablen groß ist. Eine zweckmäßige Lösung dieses Mehrvariablenüberwachungsproblems ist im allgemeinen die Verwendung von Trendvorgeschichteplots, die das Vorverhalten einer oder mehrerer Variablen anzeigen. Dieser Ansatz ist jedoch insofern zu grundflächenintensiv, als er auch nur für einige wenige Prozeßvariablen viel Platz zum parallelen Anzeigen mehrerer Trendvorgeschichteplots erfordert. Folglich sind Benutzer typischerweise gezwungen, auf mindestens einen Teil der Trendvorgeschichteplots für die Prozeßvariablen auf serielle Weise zuzugreifen.

[0011] Ferner muß ein Benutzer in einem auf Modellen basierenden prädiktiven Steuerprozeß zum Beispiel in der Lage sein, potentielle Ursachen beobachteter Änderungen gesteuerter Variablen zu deduzieren und den Benutzern dabei zu helfen, die Effekte etwaiger geplanter Manipulationen von manipulierten Variablen, z.B. der Änderung von Nebenbedingungen oder Grenzen für eine manipulierte Variable, vorherzusagen. Eine besonders nützliche Schirmanzeige, die zur Zeit für eine solche Analyse benutzt wird, ist eine Matrixtabelle, die eine Verstärkungsbeziehung zwischen gesteuerten Variablen und manipulierten Variablen anzeigt. Zum Beispiel ist in dem Honeywell-Benutzerhandbuch ein Verstärkungsmatrixschirmbild gezeigt, das zur Zeit zum Anzeigen von

Verstärkungswerten verfügbar ist. Solche Anzeigen liefern jedoch keine adäquaten Informationen und Werkzeuge zur Benutzung des Matrixschirmbilds, um den Benutzer bei Problemlösungsaufgaben zu unterstützen. Tatsächlich verwenden nur wenige Prozeßtechniker und keine Bediener der Steuerungen die Tabellen häufig.

[0012] Weiterhin sind außerdem zum Beispiel auf Modellen basierende prädiktive Steuerungen im allgemeinen Werkzeuge auf der Basis von Nebenbedingungen, wie auch verschiedene andere Steuerungen, z.B. die Steuerungen versuchen, einen Prozeß innerhalb bestimmter Nebenbedingungen oder Grenzen zu steuern, die für gesteuerte Prozeßvariablen definiert sind. Die Verwendung solcher auf Nebenbedingungen basierender Techniken zur Steuerung des Prozesses führt zu der problematischen Aufgabe, in der Lage zu sein, die Beziehungen zwischen den verschiedenen Nebenbegrenzungsgrenzen und den aktuellen Werten für eine Prozeßvariable oder für mehrere Prozeßvariablen überwachen oder verfolgen zu können. Zum Beispiel können bei einer auf Modellen basierenden prädiktiven Steuerung technische harte Grenzen, vom Bediener gesetzte Grenzen, technische physikalische Grenzen und/oder verschiedene andere Grenzen für eine Anzahl verschiedener Prozeßvariablen spezifiziert werden. Von einem Benutzer wird im allgemeinen gefordert, daß er die Beziehungen einer großen Anzahl von Prozeßvariablen überwacht. Traditionell liegen Informationen zur Ausführung einer solchen Überwachung durch Präsentation solcher Informationen in Textform vor. Zum Beispiel werden einem Benutzer zusätzlich zu dem aktuellen Wert für eine Prozeßvariable tabellarische Werte präsentiert, die technische Ober- und Untergrenzwerte repräsentieren. Der Benutzer muß dann den Text lesen und die Beziehung zwischen den relevanten Grenzen und dem aktuellen Wert formulieren. Wenn eine große Anzahl solcher Prozeßvariablen überwacht wird, ist die Aufgabe des Formulierens solcher Beziehungen schwierig.

[0013] Zusätzlich kann zum Beispiel von einem Benutzer gefordert sein, Parameter für eine Prozeßvariable effektiv zu überwachen und zu manipulieren, z.B. die Einstellung von Bedienerober- und -untergrenzen für eine Prozeßvariable. Bisher waren Schnittstellentechniken, mit denen dem Benutzer Informationen präsentiert und dem Benutzer eine Möglichkeit gegeben wird, einen oder mehrere Parameter einer Prozeßvariablen zu ändern, ineffektiv. Zum Beispiel verwendet ein Benutzer typischerweise hauptsächlich eine tabellarische Präsentation von Daten in bezug auf eine bestimmte Prozeßvariable, z.B. eine farbcodierte tabellarische Präsentation von Textmaterial. In einem konkreten Fall wurden jedoch bestimmte graphische Elemente verwendet, um eine oder mehrere Teilmengen von Informationen wie zum Beispiel Grenzen und aktuelle Werte mit Unterstüt-

zungstext zur Verwendung bei der Überwachung und Manipulation einer Prozeßvariablen zu zeigen. Bei solchen Ansätzen kommt es jedoch mindestens zu drei Problemen. Erstens sind sie schwierig zu benutzen, weil sie entweder extensive kognitive Manipulation quantitativer Daten erfordern oder weil sie in bezug auf ihre Integration unvollständig sind. Wenn zum Beispiel bestimmte Grafiken mit Textmaterial verwendet wurden, präsentierten die Grafiken solche Informationen für den Benutzer nicht effektiv. Zum Beispiel wurden ein Graph mit einem separaten Paar Linien, die Grenzen für eine Prozeßvariable anzeigen, einem separaten Balken, der vom Bediener eingestellte Ober- und Untergrenzen für die Prozeßvariable repräsentiert, einer separaten Linie, die einen derzeitigen Wert der Prozeßvariablen repräsentiert, und Klemmgrenzen innerhalb anderer Grenzen zur Anzeige von Eigenschaften der bestimmten Prozeßvariablen verwendet. Bei einer solchen separaten Anzeige der Elemente fehlt jedoch die Integration zur leichten Überwachung der Prozeßvariablen. Indem die verschiedenen Grenzbeziehungen unabhängig angezeigt werden, wird zweitens wertvolle Schirmgrundfläche benutzt, so daß es unmöglich wird, mehr als nur einige wenige Prozeßparameter auf einmal zu zeigen. Dadurch wird wieder ein Benutzer gezwungen, serielle Vergleiche über mehrere Variablen hinweg durchzuführen. Drittens ermöglichen keine der existierenden graphischen Ansätze eine direkte Manipulation der variablen Grenzen. Anders ausgedrückt, muß der Benutzer angegebene Grenzen ändern, indem er ein separates Schirmbild oder separate Textinformationen verwendet.

[0014] Wie bereits oben erwähnt, sind die Anzeigen, mit denen Informationen für einen Benutzer zur Überwachung und Manipulation von Prozeßvariablen, z.B. Prozeßvariablen einer Steuerung, die eine Steuerung eines kontinuierlichen Mehrvariablenproduktionsprozesses bereitstellt, angezeigt werden, nicht effektiv. Zum Beispiel kommt es bei einem bestimmten Problem zu der Verwendung einer großen Menge von Textinformationen, wobei der Benutzer Beziehungen zwischen verschiedenen Prozeßvariablen der Steuerung (z.B. Beziehungen zwischen aktuellen Werten und Prozeßgrenzen, Beziehungen aus dem Textmaterial zwischen Trends mehrerer Prozeßvariablen usw.) formulieren muß. Weiterhin erfordern solche herkömmlichen Anzeigen, die versuchen, adäquate Informationen für einen Benutzer, z.B. Trendplots, Textinformationen usw. bereitzustellen, unerwünscht viel Schirmgrundfläche.

[0015] Aus EP-A-0843244 ist ein diagnostisches Trendanalyseverfahren zur Verwendung bei der Analyse von Triebwerksdaten für Flugzeugtriebwerke bekannt. Aus US-A-5859885 ist ein Informationsanzeigesystem zur Verwendung bei der Steuerung eines Nuklearstromgenerators bekannt.

[0016] Die vorliegende Erfindung liefert eine graphische Benutzeroberfläche, die es dem Benutzer erlaubt, seine wahrnehmungsbezogenen Stärken bei der Erkennung und Lösung von Prozeßabnormitäten auszunutzen. Ferner hilft die Oberfläche Benutzern, z.B. Technikern und Bedienern, ein besseres Verständnis einer Mehrvariablensteuerung zu erhalten und zu bestimmen, welche Aktionen sie zur Unterstützung der Steuerung unternehmen können.

[0017] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird außerdem ein computerimplementiertes Verfahren zur Bereitstellung von Echtzeitprozeßinformationen für einen Benutzer für einen in einer Prozeßanlage durchgeführten Mehrvariablenprozeß bereitgestellt, wobei der Mehrvariablenprozeß unter der Kontrolle mehrerer Prozeßvariablen betreibbar ist.

[0018] Die obige Zusammenfassung der vorliegenden Erfindung soll nicht jede Ausführungsform oder jede Implementierung der vorliegenden Erfindung beschreiben. Vorteile zusammen mit einem besseren Verständnis der Erfindung werden durch Bezugnahme auf die folgende ausführliche Beschreibung und die Ansprüche in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen ersichtlich und erkennbar. Es zeigen:

[0019] [Fig. 1](#) ein Blockschaltbild eines Prozeßsystems mit einer graphischen Benutzeroberfläche gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0020] [Fig. 2](#) ein Datenflußdiagramm der in [Fig. 1](#) gezeigten graphischen Benutzeroberfläche.

[0021] [Fig. 3](#) eine Schirmanzeige, die allgemein die Komponenten der graphischen Benutzeroberfläche von [Fig. 1](#) zeigt.

[0022] [Fig. 4](#) eine Objektmodellübersicht über die graphische Benutzeroberfläche von [Fig. 1](#).

[0023] [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) ausführlichere Diagramme einer Prozeßvariablen-Übersichtsanzeigeregion, wie zum Beispiel der allgemein in [Fig. 3](#) gezeigten.

[0024] [Fig. 6](#) ein ausführlicheres Diagramm einer Prozeßvariablen-detail- und Änderungsansichtsanzeigeregion, wie zum Beispiel der allgemein in [Fig. 3](#) gezeigten.

[0025] [Fig. 7A–Fig. 7G](#) ausführlichere Diagramme einer Prozeßvariablen-Skalenschnittstelle für eine Prozeßvariablen-detail- und Änderungsansichtsanzeigeregion, wie zum Beispiel der in [Fig. 6](#) gezeigten.

[0026] [Fig. 8](#) ein Diagramm einer Trendschnittstelle, wie zum Beispiel der allgemein in der Prozeßvariablen-detail- und Änderungsansichtsanzeigeregion von [Fig. 3](#) gezeigten.

[0027] [Fig. 9](#) eine ausführlichere Ansicht der Mehrvariablen-Prozeßmatrixanzeigeregion, wie zum Beispiel der allgemein in [Fig. 3](#) gezeigten.

[0028] [Fig. 10](#) eine ausführlichere Darstellung einer Menge von graphischen Zusammenfassungseinrichtungen, z.B. Bubble-Skalen, die zum Beispiel in einer Matrixanzeige wie der in [Fig. 9](#) gezeigten verwendet werden.

[0029] [Fig. 11](#) ein Diagramm eines Prozeßvariablen-Detailschirmbilds, das von einem Benutzer aus mehreren verfügbaren Schirmbildern auswählbar ist, wie in dem Anzeigeschirmbild von [Fig. 3](#) gezeigt.

Ausführliche Beschreibung der Ausführungsformen

[0030] [Fig. 1](#) ist ein Blockschaltbild eines Prozeßsystems **10** mit einer graphischen Benutzeroberfläche **50** zur Unterstützung von Benutzern bei der Überwachung und Manipulation einer oder mehrerer Prozeßvariablen, die in einer Steuerung **14** enthalten sind, die betreibbar ist, um einen durch eine Prozeßanlage **12** durchgeführten Prozeß zu steuern. Das Prozeßsystem **10** enthält die Prozeßanlage **12** zur Durchführung eines Prozesses unter der Kontrolle der Steuerung **14** und einer oder mehrerer optionaler Substeuerungen **16**.

[0031] Die Prozeßanlage **12** repräsentiert eine oder mehrere Anlagenkomponenten zur Durchführung eines Anlagenprozesses oder einen Teil eines Anlagenprozesses, der unter der Kontrolle einer oder mehrerer Prozeßvariablen einer Steuerung **14** betreibbar ist. Zum Beispiel kann die Prozeßanlage **12** eine petrochemische Raffinerie zur Durchführung eines petrochemischen Prozesses, eine Nuklearanlage, eine chemische Anlage usw. sein. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf irgendeine bestimmte Prozeßanlage **12** beschränkt, sondern ist bei der Steuerung kontinuierlicher Mehrvariablenproduktionsprozesse besonders vorteilhaft.

[0032] Die Steuerung **14** und die optionalen Substeuerungen **16** können eine beliebige Steuervorrichtung enthalten, die eine oder mehrere Prozeßvariablen zur Verwendung bei der Steuerung eines durch die Prozeßanlage **12** durchgeführten Prozesses enthält. Zum Beispiel können verschiedene Teile der hier beschriebenen graphischen Benutzeroberfläche **50** auf eine Steuerung anwendbar sein, die die Steuerung eines Prozesses über eine einzige Prozeßvariable gewährleistet. Die Steuerung **14** ist jedoch vorzugsweise eine auf Nebenbedingungen basierende Steuerung, bei der Grenzen für eine oder mehrere Prozeßvariablen der Steuerung bereitgestellt werden, so daß die Steuerung wirkt, um die eine oder die mehreren Prozeßvariablen während der Steuerung des durch die Anlage **12** durchgeführten Prozesses innerhalb solcher Grenzen zu halten. Obwohl die vor-

liegende Erfindung für das effektive Überwachen und Manipulieren von Prozeßvariablen einer Steuerung für einen beliebigen Mehrvariablenprozeß nützlich sein kann, ist die hier beschriebene graphische Benutzeroberfläche **50** besonders für das Überwachen und Manipulieren von Prozeßvariablen nützlich, die mit einer auf Modellen basierenden prädiktiven Steuerung assoziiert sind. Der Einfachheit halber wird die Erfindung im weiteren mit Bezug auf eine auf Modellen basierende prädiktive Steuerung **14** beschrieben. Für Fachleute ist jedoch erkennbar, daß die hier beschriebenen Benutzeroberflächentechniken keineswegs auf Mehrvariablenprozesse oder auf Modellen basierende prädiktive Steuerungen beschränkt sind, sondern Anwendung auf verschiedene Steuerungen und verschiedene Prozesse finden können, darunter Einzelprozeßvariablensteuerungen und -prozesse.

[0033] Wie bereits in dem Abschnitt über den allgemeinen Stand der Technik beschrieben wurde, enthält eine auf Modellen basierende prädiktive Steuerung **14** Algorithmen, die Steuerbewegungen als Lösung eines Optimierungsproblems zur Minimierung von Fehlern unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen, die entweder vom Benutzer oder vom System auferlegt werden, berechnen. Eine auf Modellen basierende prädiktive Steuerung ist in der Regel eine Steueranwendung mit mehreren Eingängen und mehreren Ausgängen, die mehrere Variablen zur Verwendung bei der Steuerung eines Prozesses enthält. Im allgemeinen besteht die auf Modellen basierende prädiktive Steuerung aus zwei Hauptteilen: erstens wird mit einem Optimierungsprogramm die beste Stelle zum Ablaufenlassen des Prozesses im stationären Zustand definiert und zweitens definiert ein dynamischer Steueralgorithmus, wie der Prozeß auf glatte Weise ohne Verletzung etwaiger Nebenbedingungen zu dem stationären Optimum bewegt werden kann. Zum Beispiel betrachtet mit einer spezifizierten Frequenz von z.B. einmal pro Minute der Optimierer den aktuellen Zustand des Prozesses und berechnet ein neues Optimum. Von dem Optimierer weiß die Steuerung, wo sich die Prozeßvariablen im stationären Endzustand befinden sollten. Der Steueralgorithmus berechnet dann eine dynamische Menge von Änderungen für die Prozeßvariablen, um den Prozeß ohne dynamische Verletzungen von Nebenbedingungen auf glatte Weise in den stationären Zustand zu überführen. Zum Beispiel können für eine Prozeßvariable 60–120 Steuerbewegungen in die Zukunft hinein berechnet werden. Im allgemeinen wird eine dieser berechneten Steuerbewegungen implementiert und der Rest weggeworfen. Diese Schritte werden dann reiteriert. Das Steuerziel für die auf Modellen basierende prädiktive Steuerung besteht im allgemeinen darin, durch Berechnung unter Verwendung eines auf ökonomischen Werten basierenden Modells (nachfolgend definierte) optimale gesteuerte Variablen zu gewährleisten.

[0034] Zum Beispiel kann die auf Modellen basierende prädiktive Steuerung unter Verwendung von Produkten durchgeführt werden, die von mehreren Firmen erhältlich sind. Wie bereits in dem Abschnitt über den allgemeinen Stand der Technik erwähnt wurde, wird die auf Modellen basierende prädiktive Steuerung durch ein DMC-Produkt (Dynamic Matrix Control) durchgeführt, das von Aspen Tech (Cambridge, MA) erhältlich ist, und durch ein RMPCT-Produkt (Robust Multivariable Predictive Control Technology), das von Honeywell Inc. (Minneapolis, MN) erhältlich ist und das ein Steueranwendungsprodukt mit mehreren Eingängen und mehreren Ausgängen ist, das hochinteraktive industrielle Prozesse steuert und optimiert. Obwohl hier mehrere Steuerungen aufgelistet werden, ist die vorliegende Erfindung nicht auf die Verwendung nur mit diesen Steuerungen beschränkt. Solche Steuerungen werden lediglich zur Veranschaulichung aufgelistet und die hier beschriebenen graphischen Benutzeroberflächentechniken gelten für alle Steuerungen, bei denen eine Überwachung und/oder Manipulation einer oder mehrerer Prozeßvariablen gewünscht wird. Ferner erfolgt die Beschreibung in Bezug auf die auf Modellen basierende prädiktive Steuerung **14** auf sehr allgemeine Weise, da Fachleute mit solchen Steuerungen und ihren Eingangs- und Ausgangssignalen vertraut sind.

[0035] Eine auf Modellen basierende prädiktive Steuerung **14** enthält im allgemeinen drei Arten von Variablen: nämlich gesteuerte Variablen (CVs), manipulierte Variablen (MVs) und Störungsvariablen (DVs) (die manchmal auch als Vorwärtskopplungsvariablen (FFs) bezeichnet werden), obwohl andere Steuerungen andere Arten von Variablen enthalten können. Im vorliegenden Kontext sind gesteuerte Variablen die Variablen, die die Steuerung versucht, innerhalb von Nebenbedingungen zu halten. Ferner kann es auch gewünscht sein, einen Teil der gesteuerten Variablen zu minimieren, zu maximieren oder auf einem Zielwert zu halten (z.B. Maximierung einer Förderdurchsatzprozeßvariablen). Manipulierte Variablen sind Variablen wie zum Beispiel Ventile oder „Handles“, die die Steuerung öffnen und schließen kann, um zu versuchen, ein Ziel der Steuerung (z.B. Maximierung des Förderdurchsatzes) zu erreichen, während alle anderen Variablen innerhalb ihrer Nebenbedingungen gehalten werden. Störungsvariablen sind die Variablen, die gemessen, aber nicht gesteuert werden können. Störungsvariablen helfen der Steuerung bei der Bereitstellung notwendiger Informationen, wie zum Beispiel Informationen bezüglich bestimmter Faktoren, z.B. Außenlufttemperatur. Die Steuerung **14** kann dann erkennen, wie sich solche Faktoren auf andere Prozeßvariablen in der Steuerung auswirken werden, um so besser vorherzusagen, wie die Anlage auf Änderungen dieser Faktoren reagieren wird. Die Substeuerungen **16** können aus einer Teilmenge manipulierter Variablen und gesteu-

erter Variablen bestehen. In der Regel versuchen solche Substeuerungen **16** jedoch, eine manipulierte Variable über Rückkopplung so zu steuern, daß sie innerhalb bestimmter Grenzen bleibt.

[0036] Ein Benutzer der auf Modellen basierenden prädiktiven Steuerung **14** (z.B. ein Techniker, ein Bediener usw.) erhält gemäß der vorliegenden Erfindung verschiedene Arten von Informationen bezüglich der verschiedenen Prozeßvariablen, darunter Informationen über die gesteuerten Variablen, manipulierten Variablen und Störungsvariablen der Steuerung **14** durch die graphische Benutzeroberfläche **50** wie später ausführlicher beschrieben werden wird. Der Benutzer kann, wie ebenfalls nachfolgend weiter beschrieben wird, auf verschiedene Weisen solche Informationen überwachen und mit der Steuerung **14** in Dialog treten. Zum Beispiel kann der Benutzer verschiedene Arten von Grenzen ändern, die in der Steuerung enthaltenen Prozeßvariablen auferlegt werden (z.B. Änderung von Unter- oder Obergrenzen für einzelne Prozeßvariablen).

[0037] Die graphische Benutzeroberfläche **50** gibt einem Benutzer (z.B. einem Techniker, einem Bediener usw.) die Möglichkeit, die Steuerung **14** zu überwachen, zu verstehen und einzustellen, so daß der Benutzer effektiv mit der Steuerung in Dialog treten kann, um es zum Beispiel dem Benutzer zu ermöglichen, zu wissen, ob die Steuerung in der Lage sein wird, mit einer Prozeßstörung fertig zu werden. Ferner gibt die graphische Benutzeroberfläche **50** dem Benutzer die Möglichkeit, mehrere Prozeßvariablen (z.B. Förderraten, Produktraten, Benutzer definierte Tags usw.) zu überwachen, um nach Dingen wie etwa oszillierenden Variablen zu schauen, wenn die Prozeßvariable gerade optimiert wird, und Schlüsselprozeßvariable zu überwachen, die für die Integrität der Steuerung kritisch sind, und zwar alles auf einem einzigen Anzeigeschirm. Die graphische Benutzeroberfläche **50** gibt einem Benutzer Werkzeuge zur Hand, wie zum Beispiel die Beziehung zwischen manipulierten Variablen und gesteuerten Variablen, eine Anzeige, welche Prozeßvariablen auf Grenzen gehalten werden, und eine Anzeige der Beziehungen zwischen Prozeßvariablen, um bei der Diagnose eines bestimmten Problems in der Steuerung **14** zu helfen.

[0038] Zum Beispiel können es verschiedene Situationen erfordern, daß der Benutzer mit der Steuerung **14** in Dialog tritt. Zum Beispiel müssen während der Wartung der Prozeßanlage verschiedene Prozeßvariablen aus der Steuerung herausgenommen werden, um Instrumente zu kalibrieren oder für andere Wartungsaktivitäten. Es kann notwendig sein, zu bestimmen, wie die Dinge zwischen einem Wechsel von Bedienschichten gelaufen sind; es kann eine Anweisung von der Betriebszentrale oder der Technikabteilung kommen, das Modell, die Nebenbedingungen, Ziele usw. zu ändern; es kann von dem Bediener

gefordert werden, Zwischenfälle zu handhaben, indem er entweder die Steuerung unterstützt oder die Steuerung die Störung handhaben läßt oder die Steuerung ausschaltet; oder es können verschiedene andere Diagnoseumstände vorliegen, wie zum Beispiel eine schlecht abgestimmte Steuerung, wobei die Steuerung eine vorübergehende Aktion zur Kompensation einer Störung unternimmt usw.

[0039] Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, empfängt die graphische Benutzeroberfläche **50** im allgemeinen Daten bezüglich der einen oder mehreren Prozeßvariablen von der Steuerung **14**. Wie bereits erwähnt wurde, kann die graphische Benutzeroberfläche **50** in bezug auf eine einzige gesteuerte Prozeßvariable benutzbar sein oder empfängt vorzugsweise Daten, die mit mehreren Prozeßvariablen assoziiert sind, von der Steuerung **14**.

[0040] Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, enthält die graphische Benutzeroberfläche **50** eine Anzeige **58**, die unter der Kontrolle der Anzeigesteuerung **56** und der Computerverarbeitungseinheit **52** betreibbar ist. Zur Übermittlung von Informationen zu der Computerverarbeitungseinheit **52** können verschiedene Benutzereingabegeräte **60** verwendet werden. Zu den Benutzereingabegeräten **60** können zum Beispiel Schreibstifte, eine Maus, eine Tastatur, ein berührungsempfindlicher Anzeigeschirm oder ein beliebiges anderes Benutzereingabegerät, das im allgemeinen für graphische Benutzeroberflächen verwendet wird, gehören. Die Computerverarbeitungseinheit **52** tritt mit einem Speicher **54** in Dialog, um eines oder mehrere darin gespeicherte Programme auszuführen. Unter der Kontrolle der Computerprozeßeinheit **52** ermöglicht der Speicher **54** eine Speicherung verschiedener Informationen, z.B. Schirminformationen, Formatinformationen, anzuzeigende Daten oder beliebige andere Informationen, die aus der vorliegenden Beschreibung in bezug auf die verschiedenen auf der Anzeige **58** angezeigten Schirmbilder hervorgehen werden, darin.

[0041] Die Computerverarbeitungseinheit **52** wirkt, um von ihr empfangene Informationen anzupassen. Zum Beispiel werden aus der Modell prädiktiven Steuerung **14** empfangene Informationen für die Ablieferung von Anzeigeeinheiten an die Anzeigesteuereinheit **56** zur Anzeige auf einer Schirmanzeige **58** angepaßt. Ferner werden zum Beispiel über die Benutzereingabegeräte **60** empfangene Informationen für die Verwendung z.B. Navigation oder Ablieferung zu der Steuerung **14** (z.B. Grenzänderungen für die Steuerung **14**) angepaßt. Die Anzeigeeinheiten- und Benutzereingabesteuerfunktionalität durch die Benutzereingabegeräte **60** sind im allgemeinen in der Technik bekannt. Zum Beispiel können Textinformationen bearbeitet, Prozeßvariablen ausgewählt, Hervorhebung durch Anklicken implementiert, und Elemente gezogen werden,

um Informationsänderungen einzugeben usw.

[0042] Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, enthält der Speicher **54** ein Modul **70** der graphischen Benutzeroberfläche (GUI) einschließlich Programmierung zur Verwendung bei der Bereitstellung der verschiedenen Anzeigeschirmbilder, die weiter beschrieben werden, und dem Bearbeiten solcher Anzeigeschirmbilder, so wie es auf Echtzeitbasis notwendig ist, während Daten durch die Computerverarbeitungseinheit **52** aus der Steuerung **14** empfangen werden. Zum Beispiel ermöglicht das GUI-Modul **70** den Transfer von Aktuellwertdaten, die aus der Steuerung empfangen werden, direkt zu dem entsprechenden Objekt auf dem Anzeigeschirm. Ferner ist in dem Speicher **54** ein Datenanalysemodul **72** gespeichert, das Programmierung enthält, die bei der Verarbeitung in bezug auf aus der Steuerung **14** empfangene Daten hilft, die in ihrer allgemeinen Beschaffenheit modifiziert werden sollen, bevor solche Daten zur Aktualisierung des Anzeigeschirmbilds bereitgestellt werden. Ferner dient das Datenanalysemodul **72** zur Verarbeitung von Vorgeschichtedaten zur Reduktion solcher Daten auf ein bestimmtes Trendformelement zur Anzeige, wie nachfolgend weiter beschrieben werden wird.

[0043] Anzeigefunktionen werden vorzugsweise unter Verwendung eines Standardmonitors durchgeführt (der vorzugsweise groß genug ist, um alle nachfolgend beschriebenen Anzeigeregionen anzuzeigen), und die angezeigten graphischen Elemente werden unter Verwendung von Visual-Basic-Code implementiert. Ferner wird vorzugsweise zur Durchführung der erforderlichen Verarbeitung ein NT-System verwendet. Für Fachleute ist jedoch erkennbar, daß beliebige geeignete Komponenten und beliebiger geeigneter Code mit der Fähigkeit zur Ausführung in den Anzeigeschirmen der graphischen Benutzeroberfläche realisierter Techniken und die einen Dialog mit der Steuerung **14** ermöglichen, verwendet werden können, wie gemäß der vorliegenden Erfindung in Betracht gezogen wird.

[0044] [Fig. 2](#) zeigt ein beispielhaftes Datenflußdiagramm **100** für eine auf Modellen basierende prädiktive Steuerung **14**, die mit einer graphischen Benutzeroberfläche **50** gemäß der vorliegenden Erfindung ausgestattet ist. Zu den Daten **102** der auf Modellen basierenden prädiktiven Steuerung gehören Prozeßsteuerbefehle **105** zur Steuerung der Prozeßanlage **12** auf eine in der Technik herkömmlich bekannte Weise. Zum Beispiel berechnet die auf Modellen basierende prädiktive Steuerung **14** mit einer spezifizierten Frequenz einen optimalen stationären Zustand, der vorschreibt, wo sich die Werte bestimmter Prozeßvariablen befinden sollten. Danach berechnet die Steuerung eine dynamische Menge von Änderungen für die manipulierten Variablen, um den Prozessor auf glatte Weise in den stationären Zustand zu überführen, indem die gewünschten Änderungen für

die manipulierten Variablen Vorrichtungen für die Implementierung solcher Änderungen, z.B. den Substeuerungen **16**, Ventilen, anderer „Handles“ usw. zugeführt werden. Anders ausgedrückt, werden die Prozeßsteuerbefehle **105** zur Steuerung der manipulierten Variablen bereitgestellt.

[0045] Die auf Modellen basierende prädiktive Steuerung **14** erzeugt verschiedene Werte, die als Daten der graphischen Benutzeroberfläche **50** zugeführt werden und die verschiedene in der Steuerung **14** enthaltene Prozeßvariablen betreffen. Zu den der graphischen Benutzeroberfläche **50** zugeführten Daten **102** der auf Modellen basierenden prädiktiven Steuerung gehören mindestens Prädiktionswertdaten, Aktuellwertdaten und Modelldaten **103**. Zum Beispiel enthalten die Prädiktionswertdaten die Daten auf der Basis der für die verschiedenen Prozeßvariablen wie oben beschrieben berechneten zukünftigen Steuerbewegungen. Wie oben angegeben, kann zum Beispiel die auf Modellen basierende prädiktive Steuerung **14** 60–120 Steuerbewegungen in die Zukunft hinein berechnen, wobei assoziierte vorhergesagte Werte für die Prozeßvariablen, insbesondere für die manipulierten Variablen und gesteuerten Variablen, erzeugt werden.

[0046] Die der graphischen Benutzeroberfläche **50** zugeführten Aktuellwertdaten enthalten aktuelle gemessene Werte von einer beliebigen Anzahl von Quellen. Zum Beispiel können aktuelle Werte durch beliebige der Substeuerungen gemessen werden, darunter Sensoren, Ventilpositionen, usw. Ferner können solche Daten direkt von einer Komponente der Prozeßanlage **12** bereitgestellt werden oder können ein für eine Prozeßvariable, z.B. gesteuerte Variable, durch die Steuerung **14** erzeugter Wert sein.

[0047] Modelldaten umfassen statische Informationen, wie zum Beispiel die die Steuerung **14** selbst betreffenden, z.B. Verstärkungsbeziehungen zwischen einer gesteuerten Variablen im Vergleich zu einer manipulierten Variablen, Verzögerungswerte, Koeffizienten verschiedener Modellgleichungen usw. Solche Daten sind im allgemeinen feste Daten und werden in vielen Fällen nur einmal der graphischen Benutzeroberfläche zugeführt, im Gegensatz zu den anderen Arten von Daten, die sich kontinuierlich ändern.

[0048] Die Prädiktionswertdaten, Aktuellwertdaten und Modelldaten werden der Computerverarbeitungseinheit **52** zugeführt und werden durch das Modul **70** der graphischen Benutzeroberfläche und das Datenanalysemodul **72** so verwendet, wie es erforderlich ist, um die später beschriebenen Schirmbilder anzuzeigen. Zum Beispiel empfängt das Modul **70** der graphischen Benutzeroberfläche Aktuellwertdaten aus der Steuerung **14** und verwendet solche aktuellen Daten zur Aktualisierung von Anzeigeobjek-

ten **108** zur Anzeige. Ferner werden zum Beispiel Benutzereingabedaten **110** über die Computerverarbeitungseinheit **52** dem Modul **70** der graphischen Benutzeroberfläche zugeführt, um zu der auf Modellen basierenden prädiktiven Steuerung **14** zurück übermittelt zu werden. Benutzereingabedaten können zum Beispiel veränderte Grenzen für eine bestimmte Prozeßvariable sein, die der Steuerung **14** zur Verwendung bei der weiteren Steuerung und bei Optimierungsberechnungen zugeführt werden.

[0049] Das Datenanalysemodul **72** operiert an aus der Steuerung **14** bereitgestellten Daten, um Daten zur Anzeige der Objekte **108** bereitzustellen. Zum Beispiel kann das Datenanalysemodul **72** aktuelle Daten über einen Zeitraum empfangen und speichern, um so Trends in solchen gespeicherten vorgezeichneten Daten für eine oder mehrere Prozeßvariablen zu charakterisieren. Solche Trends können dann wie später beschrieben werden wird, unter Verwendung von graphischen Formelementen, die verallgemeinerten Plots solcher Daten ähneln, angezeigt werden. Ferner kann das Datenanalysemodul **72** Vergleiche zwischen Aktuellwertdaten und gesetzten Grenzen durchführen, um so entsprechende Farbinformationen anzuzeigen, um darüber einen Benutzer auf bestimmte Informationen auf der Anzeige in der graphischen Benutzeroberfläche **50** hinzuweisen. Nach dem Abschluß der Verarbeitung der von ihm empfangenen Daten kann das Datenanalysemodul Daten zur direkten Manipulation von Anzeigeobjekten **108** oder Informationen für das Modul **70** der graphischen Benutzeroberfläche bereitstellen, wobei das Modul **70** der graphischen Benutzeroberfläche eine beliebige erwünschte Manipulation von Anzeigeobjekten **108** gewährleistet.

[0050] [Fig. 3](#) ist ein allgemeines Diagramm eines beispielhaften Anzeigeschirms für die graphische Benutzeroberfläche **50**. Das sichtbare Feld des Anzeigeschirms wird im allgemeinen in drei funktionale Bereiche unterteilt, darunter die Mehrvariablen-Prozeßübersichtsanzeigeregion **150**, die Mehrvariablen-Prozeßmatrixanzeigeregion **200** und die Prozeßvariablendetail- und Änderungsansichtsanzeigeschnittstellenregion **250**.

[0051] [Fig. 4](#) ist eine Objektmodellübersicht **300** für den in [Fig. 3](#) gezeigten Anzeigeschirm. Im allgemeinen ist das Hauptdatenobjekt ein Punkt **306** von mehreren Punkten **304**, die manipulierte Punkte des variablen Typs, gesteuerte Punkte des variablen Typs oder Punkte des störungsvariablen Typs sein können. Der Punkt weist viele Attribute und mit ihm assoziierte Methoden auf. Jeder Punkt ist dafür verantwortlich, sich selbst in dem entsprechenden Anzeigeobjekt bzw. in den entsprechenden Anzeigeobjekten anzuzeigen. Jeder Punkt wird entsprechend aktualisiert, wenn sich Daten ändern, und aktualisiert Anzeigeobjekte so wie es notwendig ist.

[0052] Das Shell-Objekt **302** ist der Behälter für die Anwendung der graphischen Benutzeroberfläche und enthält alle nicht separat auf der Objektmodellübersicht gezeigten Posten/Objekte, z.B. den Iterationszeittakt **157**, die allgemeinen Steuerungsinformationen **151**, Reiter für Behälter für visuelle Objekte, wie zum Beispiel in der Reiterregion **211**, Datum **146** usw. Das Shell-Objekt **302** entspricht der in [Fig. 3](#) gezeigten Anzeige-Shell **140**.

[0053] Die Objektkonnektivität und Steuerung der anderen, separat auf der Objektmodellübersicht gezeigten Posten/Objekte soll durch Beschreiben einiger Objekte zusammenfassend beschrieben werden. Zum Beispiel kann das Prozeßvariablen-Übersichtsanzeigeobjekt **308**, das der Trendübersichtsanzeige **152** entspricht, ein Rahmenbehältergehäuse für Graphiken sein. Solche Behälter können für eine Menge von Zustandsinformationen von Punktobjekten repräsentierenden Bildern bestimmt sein. Eine Bildlistensteuerung ist Teil dieses Objekts **308** und enthält alle möglichen Bilder für die Symbole, die nachfolgend ausführlicher beschrieben werden. Während der Systemkonfiguration werden den Punktobjekten die Positionen der möglichen Symbolbilder zugewiesen. Zum Zeitpunkt der Datenaktualisierung fordern die Punktobjekte das Anzeigeobjekt **308** auf, die Symbole anzuzeigen, die für den Zustand der Punkte geeignet sind, der durch Auswertung von Zustandsschätzeralgorithmen, z.B. Reduktionsalgorithmen von Vorgeschichtedaten auf Trendverhalten, wie nachfolgend weiter beschrieben werden wird, bestimmt wird.

[0054] Zum Beispiel besitzt ein Punktobjekt, das die Anzeige ändert, das Prozeßvariablenskalaobjekt **308**, das der Prozeßvariablenskalaanschnittstelle **256** entspricht. Der Benutzer kann über diese Schnittstelle Änderungen an den Punktobjektattributen, z.B. Grenzen, vornehmen, und die Änderung kann durch Verwendung einer Texttafel oder durch Ziehen eines graphischen Elements, z.B. eines mit einer Maus gezogenen Grenz-Flags erfolgen. Auf ähnliche Weise ist jeder Punkt dafür verantwortlich, sich selbst als das entsprechende Prozeßvariablenskalaobjekt **308** anzuzeigen.

[0055] Es versteht sich, daß jedes der Objekte in [Fig. 4](#) einem in [Fig. 3](#) angezeigten Objekt entspricht. Zum Beispiel entspricht das Bubble-Skalaobjekt **310** einer zusammenfassenden graphischen Einrichtung **212**, das Änderungsansichtsanzeigeobjekt **311** entspricht der Anzeigeschnittstellenregion **250**, das Änderungsprotokollierungsobjekt **316** entspricht der Protokollierung **260**, das Matrixanzeigeobjekt **312** entspricht der Matrixanzeige **201**, das kritische-Parameter-Listen-Objekt **314** entspricht der kritischen-Parameter-Liste **154**, das Funktionswertplotobjekt **320** entspricht dem Funktionsplot **159** und das Prozeßvariablendetailanzeigeobjekt **324** entspricht der PV-Detailanzeige, die durch Verwendung des Reiters „PV

Detail" in der Reiterregion **211** wählbar ist.

[0056] Die Mehrvariablen-Prozeßübersichtsanzeigeregion **150** ist im allgemeinen in vier Funktionalbereiche segmentiert, um Benutzer in bezug auf letzte Änderungen und potentielle Probleme zu orientieren. Diese Übersichtsanzeigeregion **150** liefert konkrete Unterstützung für Schichtänderungen, z.B. Änderung von Bedienern zwischen Schichten, und die periodische Überwachung der Steuerung **14**. Im allgemeinen umfassen die vier Funktionalbereiche der Übersichtsanzeigeregion **150** die Steuerungsinformationen **151**, die Mehrvariablenprozeßtrendanzeige **152**, die kritische-Parameter-Liste **154** und die Trendplotregion **156**. Jede dieser vier funktionalen Regionen wird nachfolgend mit der Mehrvariablenprozeßtrendanzeige **152** beschrieben, die im einzelnen mit Bezug auf [Fig. 5A–Fig. 5B](#) beschrieben werden wird.

[0057] Die Steuerungsinformationen **151** erscheinen oben in der Übersichtsanzeigeregion **150** in Form einer Anzahl von Textfeldern und Pull-down-Menüs. Erstens befindet sich in der oberen linken Ecke der Region ein Textfeld **142** mit dem Namen des aktiven Steuerungsmodells. Neben dem Textfeld **142** mit dem Namen des aktiven Steuerungsmodells befindet sich eine Textanzeige **144**, die den Namen der bestimmten angezeigten Steuerung zeigt. Wenn mehr als eine Steuerung verfügbar ist, kann man eine Pull-down-Menüschaftfläche verwenden, um es dem Benutzer zu ermöglichen, aus einer Liste anderer Namen auszuwählen. Unter diesen Posten befinden sich die Steuerungsbetriebsarten **153** und Statusanzeige **155**. Statusanzeigen können zum Beispiel Anzeigen, wie etwa Optimierung, Handhabung von Nebenbedingungen usw. umfassen. Wie bei der Benutzung eines Pull-down-Menüs kann der Benutzer eine Steuerungsbetriebsart **153** auswählen, wie zum Beispiel ein, aus, warm usw. Die Betriebsart kann sich als Funktion des Zustands der Steuerung ändern. Als letztes markiert ein Takt **157** die Sekunden seit dem Anfang der letzten Steuerungsausführung.

[0058] Die kritische-Parameter-Liste **154** gibt benutzerspezifizierte Informationen über eine Menge von standortspezifischen Parametern. Diese Parameter könnten eine vordefinierte Menge kritischer Prozeßvariablen oder eine dynamische Liste sein, wie zum Beispiel Prozeßvariablen in der Nähe von oder außerhalb ihrer Grenzen oder Prozeßvariablen, die andere Kriterien erfüllen. Die kritische-Parameter-Informationen liefern ausführliche Informationen über eine kleine Menge von Variablen, die bestimmte Kriterien für Kritizität erfüllen. Zum Beispiel kann eine solche kritische-Parameter-Liste **154** dergestalt benutzerdefiniert sein, daß beliebige bestimmte verfügbare Eigenschaften regelmäßig aktualisiert werden können.

[0059] Die Trendregion **156** kann eine beliebige An-

zahl von Trendplots enthalten, die eine bestimmte Gesamtfunktionalität des Systems repräsentieren. Wie zum Beispiel in der Trendregion **156** gezeigt ist, gibt ein Zielfunktionswertplot **159** einem Benutzer Einsichten darüber, wie gut die Steuerung den Prozeß optimiert. Ferner kann zum Beispiel ein Energieplot gezeigt sein, der dafür ausgelegt ist, dem Benutzer ein Gefühl dafür zu geben, wie hart die Steuerung arbeitet, um die manipulierten Variablen einzustellen. Wie durch den Zielfunktionswertplot **159** gezeigt, können verschiedene Farbschattierungen benutzt werden, um Schranken anzuzeigen, um dem Benutzer weitere Informationen zu geben, wenn zum Beispiel die Plotwerte den Benutzer darauf aufmerksam machen sollten, daß die Steuerung nicht effektiv arbeitet.

[0060] In [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) ist die Mehrvariablen-Prozeßübersichtstrendanzeige **152** ausführlicher gezeigt. Die Trendanzeige **152** codiert vorgeschichtliche Trends für Prozeßvariablen zu Trendformelementen. Jedes Trendformelement repräsentiert ein Trendverhalten. Vorzugsweise repräsentiert jedes der Trendformelemente eines einer vorbestimmten Menge von Prozeßtrendverhalten. Solche Trendformelemente können jedoch dynamische Trends zeigen, z.B. Plots von tatsächlichen Datenpunkten, wie zum Beispiel gewählten oder abgetasteten Datenpunkten. Im vorliegenden Kontext bedeutet vorgeschichtlich einen beliebigen Zeitraum vor einer aktuellen Referenzzeit.

[0061] Wie in einer beispielhaften Menge von Trendelementen nachfolgend beschrieben wird, gehören zu den Prozeßtrendverhalten vorzugsweise Verhalten, die die Änderungsrate der Prozeßvariablen (d.h. Geschwindigkeit (erste Ableitung)) und die Änderungsrate der Geschwindigkeit (d.h. Beschleunigung (zweite Ableitung)) anzeigen. Der Zweck der Mehrvariablen-Prozeßtrendanzeige **152** besteht darin, dem Benutzer eine Übersicht auf hoher Ebene des Zustands des Prozesses und der Steuerung zu geben. Die Trendanzeige **152** verläßt sich auf die Fähigkeit des menschlichen Benutzers, Abnormitäten in visuellen Mustern zu erkennen.

[0062] Die Trendanzeige **152** ist eine graphische Anzeige für die Ergebnisse eines Signaltrendanalysealgorithmus des Datenanalysemoduls **72**, der an Daten aus der Steuerung **14** durchgeführt wird. Diese Art von Massendatenanzeige liefert eine leicht wahrgenommene Anzeige des Status vieler Prozeßvariablen; an denen der Algorithmus ausgeführt wird. Der Algorithmus kann andere Arten von Informationen visuell codieren (z.B. Abweichung von vorhergesagten Werten, Auswahl einer Variablen und unerwartete Zustandsänderung) und unterstützt Navigationen für die graphische Benutzeroberfläche **50**.

[0063] Die Mehrvariablen-Prozeßübersichtstrend-

anzeige **152** enthält ein Feld von Übersichtsanlagenkomponentensymbolen mit darin eingebetteten Trendformelementen **176**. Die Trendformelemente **176** können zum Beispiel Teil eines Feldes einer Bitmap (z.B. einer 16 × 16-Pixel-Bitmap) sein, der hier als Prozeßvariablentrendsymbol **172** bezeichnet wird. Die Anlagenkomponentensymbole **161–164** sind vorzugsweise so geformt, daß sie einer Anlagenkomponente der Prozeßanlage **12** entsprechen. Ferner werden vorzugsweise solche Anlagenkomponentensymbole **161–164** auf der Trendanzeige **152** gemäß ihrem funktionalen Ort in dem gesteuerten kontinuierlichen Mehrvariablenprozeß angeordnet.

[0064] In den durch die Anlagenkomponentensymbole **161–164** definierten Rahmen eingebettet sind die Prozeßvariablentrendsymbole **172**; jedes enthält ein Trendformelement **176**. In die Anlagenkomponentensymbole **161–164** ist für jede mit dieser bestimmten Anlagenkomponente der Prozeßanlage assoziierte Prozeßvariable ein Prozeßvariablentrendsymbol **172** eingebettet. Wie zum Beispiel in [Fig. 5A](#) gezeigt, enthält das Anlagenkomponentensymbol **161** zwei manipulierte Variablen **166**, zwei Störungsvariablen **168** und vier gesteuerte Variablen **170**, die mit einer bestimmten Anlagenkomponente **161** assoziiert sind. Das Anlagenkomponentensymbol **162** enthält zwei Prozeßvariablentrendsymbole **172**, das Anlagenkomponentensymbol **163** enthält dreizehn Prozeßvariablentrendsymbole **172** und das Anlagenkomponentensymbol **164** enthält acht Prozeßvariablentrendsymbole **172**. Vorzugsweise werden die Trendformelemente sehr nahe beieinander positioniert, so daß ein Benutzer Muster von Änderungen zwischen solchen positionierten Trendformelementen **176** wahrnehmen kann.

[0065] Das Prozeßvariablentrendsymbol **172** übermittelt mehrere Arten von Informationen. Erstens liefert der Signaltrendanalysealgorithmus, der Teil des Datenanalysemoduls **72** der graphischen Benutzeroberfläche **50** ist, die Reduktion des Trendverhaltens einer Prozeßvariablen auf primitive Trendelemente, die Verhaltenstypen repräsentieren. Wie zum Beispiel in [Fig. 5B](#) gezeigt, ist eine Menge von Trendformelementen **176** gezeigt. Die Menge von Trendformelementen **176** enthält sieben graphische Elemente **180–186**; jedes repräsentiert ein verschiedenes Trendverhalten. Zur Veranschaulichung repräsentieren die sieben graphischen Elemente **180–186** die folgenden Trendverhalten, die die Änderungsrate (d.h. Geschwindigkeit) von Prozeßvariablenwerten und außerdem die Änderungsrate der Geschwindigkeit (d.h. Beschleunigung) für die Prozeßvariablenwerte anzeigen. Das Trendformelement **180** repräsentiert ein stationäres Verhalten, das Trendformelement **181** ein Verhalten des rampenförmigen Herauffahrens, das Trendformelement **182** ein Verhalten des rampenförmigen Herunterfahrens, das Trendformelement **183** ein Verhalten einer Zunahme mit ab-

nehmender Rate, das Trendformelement **184** ein Verhalten einer Zunahme mit zunehmender Rate, das Trendformelement **185** ein Verhalten des Abnehmens mit abnehmender Rate und das Trendformelement **186** ein Verhalten des Abnehmens mit zunehmender Rate.

[0066] Der Signaltrendanalysealgorithmus reduziert aus der auf Modellen basierenden prädiktiven Steuerung **14** empfangene Vorgeschichtedaten auf eines der Trendformelemente **180–186** der Menge von Trendformelementen **176**. Nach dem Vergleichen und Bestimmen, welches Trendverhalten die Vorgeschichtedaten für die analysierte Prozeßvariable besser repräsentiert, gewährleistet der Algorithmus die Anzeige des entsprechenden Trendformelements **180–186**, das dem bestimmten Trendverhalten entspricht. Vorzugsweise wird auf diese Weise jede Prozeßvariable auf ein Trendverhalten reduziert und es wird ein entsprechendes Trendformelement für die Prozeßvariable angezeigt.

[0067] Im allgemeinen und vorzugsweise weisen die Trendformelemente **176** jeweils eindimensionale Formen auf. Die eindimensionalen Formen ähneln vorzugsweise einem generischen Plot des bestimmten Trendverhaltens, dem sie entspricht, z.B. einer horizontalen geraden Linie für stationäres Verhalten.

[0068] Für Fachleute ist aus der vorliegenden Beschreibung erkennbar, daß jeder beliebige Algorithmus, der Vorgeschichtedaten für eine Prozeßvariable auf eines einer Menge von Trendverhalten reduzieren kann, gemäß der vorliegenden Erfindung benutzt werden kann. Ferner können verschiedene Arten von Trendelementformen zur Repräsentation der verschiedenen Arten von Trendverhalten verwendet werden. Verschiedene Literaturstellen beschreiben geeignete Algorithmen für die Trendanalyse, darunter: Xia, Betty Bin. „Similarity Search in Time Series Data Sets“, M.S. Thesis, Simon Fraser University (1997); Bakshi, B.R. und Stephanopoulos, G. "Representation of Process Trends-III. Multiscale Extraction of Trends from Process Data", Computers & Chemical Engineering, Band 18, Seiten 267–302 (1994); Janusz M., und Venkatasubramanian, V., "Automatic Generation of qualitative description of process trends for fault detection and diagnosis", Engng. Applic. Artif. Intell., 4, 329–339 (1991); Rengaswamy R. und Venkatasubramanian, V., "A syntactic patternrecognition approach for process monitoring and fault diagnosis", Engng. Applic. Artif. Intell., 8, 35–51 (1995); und Cheung, J.T.Y. und Stephanopoulos, G., "Representation of process trends. I. A formal representation framework", Computers & Chemical Engineering, Band 14, Nr. 4–5, Seiten 495–510 (Mai 1990). Jeder Algorithmus, der Vorgeschichtedaten, vorzugsweise neuere Vorgeschichtedaten auf Trendverhalten reduziert, die durch ein Trendprimitivelement dargestellt werden können, z.B. durch durch

einfache Linienelemente repräsentierte verallgemeinerte Plots, kann gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden.

[0069] Außerdem können mit Farbcodierung andere Eigenschaften der Prozeßvariablen definiert werden. Zum Beispiel kann das in dem Prozeßvariablen-übersichtssymbol **172** angezeigte Trendformelement **176** farbcodiert werden, um die Beziehung zwischen einem aktuellen Wert der Prozeßvariablen und benutzerdefinierten Grenzen für die Prozeßvariable widerzuspiegeln. Zum Beispiel kann das Trendformelement **176** in dem Anlagenübersichtssymbol **162** schwarz gefärbt werden, um zu kennzeichnen, daß der aktuelle Wert für die Prozeßvariable innerhalb der benutzerdefinierten Grenzen liegt, oder kann gelb gefärbt werden, um zu kennzeichnen, daß der aktuelle Wert der Prozeßvariablen innerhalb eines bestimmten Prozentsatzes der benutzerdefinierten Grenzen liegt, oder kann rot gefärbt werden, um zu kennzeichnen, daß der aktuelle Wert für die Prozeßvariable um mindestens einen bestimmten Prozentsatz außerhalb von benutzerdefinierten Grenzen liegt. Solche Grenzen werden später mit Bezug auf andere Teile der graphischen Benutzeroberfläche **50** weiter beschrieben.

[0070] Ferner kann Farbcodierung für den Hintergrund **177** eines Prozeßvariablen-trendsymbols **172** verwendet werden, wie in dem Anlagenkomponentensymbol **162** gezeigt. Zum Beispiel kann man Farben einer Farbpalette in einen beliebigen Algorithmus, Alarm oder Sensor einbringen, der sich für eine bestimmte Anwendung eignet. Wenn zum Beispiel eine Alarmsituation für die Prozeßvariable ersichtlich ist, kann der Hintergrund **177** des Trendsymbols eine grüne Farbe sein.

[0071] Jedes der Prozeßvariablen-trendsymbole **172** ist mit einer entsprechenden Prozeßvariablen verknüpft, für die der Trendanalysealgorithmus ausgeführt wird. Die Prozeßvariablen-trendsymbole **172** werden in assoziierte statische Anlagenkomponentensymbole **161–164** oder Bitmaps eingebettet, die die Anlagenkomponente widerspiegeln, für die die Prozeßvariable gilt, z.B. gelten zwei Prozeßvariablen für die Anlagenkomponente **162**. Die Anlagenkomponentensymbole **161–164** gruppieren die Prozeßvariablen-trendsymbole **172** sowohl visuell als auch konzeptuell, um dem Benutzer dabei zu helfen, einzuordnen, wo sich ein Problem für die Steuerung **14** befinden könnte. Eine solche Gruppierung von Trendsymbolen **172** wird weiter erweitert, indem die Trendsymbole **172** in Gruppen von Prozeßvariablentypen (z.B. manipulierte Variablen, Steuervariablen und Störvariablen) gruppiert werden. Wie zum Beispiel in [Fig. 5A](#) gezeigt, werden mit Bezug auf das Anlagenkomponentensymbol **161** die manipultierten Variablen **166** in der oberen Region des Anlagenkomponentensymbols **161** gruppiert, die Störungsvariablen **168** unter

den manipultierten Variablen **166** und die gesteuerten Variablen **170** in der unteren Region des Anlagenkomponentensymbols **161**. Die Gruppierung von Variablen nach Typ wird durch dünne Linien getrennt, um die Gruppen zu unterscheiden.

[0072] Die Prozeßvariablen-trendsymbole **172** müssen nicht in Anlagenkomponentensymbole **161–164** eingebettet werden, um effektiv zu sein. Zum Beispiel können solche Trendsymbole **172** in einem Format von Zeilen und Spalten angeordnet, mit Text, der den Namen der Prozeßvariablen angibt, positioniert oder auf beliebige andere Weise konfiguriert werden, die dabei nützlich sein kann, dem Benutzer dabei zu helfen, betreffende Informationen daraus auszumachen.

[0073] Ferner können Trendformelemente **176**, die das Verhalten der Prozeßvariablen repräsentieren, alleine oder als Teil einer Bitmap, wie zum Beispiel der des Trendsymbols **172**, das einen Hintergrund für das Trendformelement bereitstellt, angezeigt werden. Für Fachleute ist erkennbar, daß in einem Trendsymbol **172** zur Repräsentation des Verhaltenstrends mehr als ein Trendformelement verwendet werden kann. Zum Beispiel kann man ein Trendformelement mit einem Winkel von 45° nach aufwärts in dem Trendsymbol **172** zusammen mit einem Symbol, das eine abnehmende Rate, z.B. ein D, darstellt, verwenden, um eine bestimmte Rate zu repräsentieren, mit der die Prozeßvariable rampenförmig herauffährt. Ähnlich kann man eine beliebige Anzahl von Kombinationen primitiver Trendformen verwenden, um Verhaltenstrends für die Prozeßvariable zu repräsentieren. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf eine bestimmte Menge von Trendformelementen und auch nicht auf eine Menge dadurch repräsentierter Verhaltenstrends beschränkt. Genauso können Elemente, die Grenzen für die Prozeßvariable repräsentieren, in dem Trendsymbol angezeigt werden, wie z.B. eine Linie an der Oberseite des Symbols **172** für eine Obergrenze. Zum Beispiel kann man mit der Anzeige einer Grenzlinie zeigen, daß der aktuelle Wert für die Prozeßvariable sich einem benutzerdefinierten Obergrenzwert nähert.

[0074] Ferner enthält die Mehrvariablen-Prozeßübersichtstrendanzeige **152** einen Statusbalken **160**, um Benutzern dabei zu helfen, zusätzliche Informationen über die Trendsymbole **172** zu entnehmen. Wenn zum Beispiel eine Maus über ein Übersichtstrendsymbol **172** geführt wird, wird eine Beschreibung der dem Trendsymbol entsprechenden Prozeßvariablen zusammen mit einer Kurzbeschreibung zusätzlicher Informationen, wie zum Beispiel einem Problem-Flag oder einer Textwarnung über eine nahe Grenze oder beliebigem anderen Textmaterial, das erwünscht wird, angezeigt. Der Statusbalken **160** gibt dem Benutzer eine Möglichkeit, bestimmte Informationen zu erhalten, ohne zu zusätzlichen Schirmbildern zu navigieren, wenn der Benutzer einen unge-

wöhnlichen Zustand sieht, wie zum Beispiel ein Trendformelement **185** der Abnahme mit abnehmender Rate. Der Statusbalken **160** kann dazu wirken, die Erwartung eines abnormen Signals eines Benutzers zu bestätigen oder die Problemlöseaktivität, die folgen sollte, anzuleiten.

[0075] Die Mehrvariablen-Prozeßübersichtstrendanzeige **152** ermöglicht ferner eine Navigation zu ausführlicheren Informationen. Zum Beispiel ist jedes der Trendsymbole **172** mit einer bestimmten Zeile oder Spalte der Mehrvariablen-Prozeßmatrixanzeige **201** verknüpft, wie später mit Bezug auf [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) weiter beschrieben werden wird. Ferner können jedes der Trendsymbole **172** oder nur das Trendformelement mit der Prozeßvariablendetail- und Änderungsansichtsanzeigeschnittstellenregion **250** verknüpft werden. Wenn ein Benutzer eines der Trendsymbole **172** wählt, wird eine entsprechende Zeile/Spalte einer Matrixanzeige **201** hervorgehoben und weitere ausführlichere Informationen in bezug auf die dem gewählten Trendsymbole **172** entsprechende Prozeßvariable werden in der Prozeßvariablendetail- und Änderungsansichtsanzeigeschnittstellenregion **250** angezeigt.

[0076] Für Fachleute ist aus der vorliegenden Beschreibung erkennbar, daß die Mehrvariablen-Prozeßübersichtstrendanzeige **152** Benutzern dabei hilft, die Leistungsfähigkeit eines Mehrvariablenprozesses zu überwachen. Bei einem stabilen Prozeß erscheinen die Trendsymbole **172** flach und unscheinbar. Wenn Prozeßvariablen in dem Prozeß von stabilen Zuständen abweichen und beginnen, zu anderen Zuständen überzugehen, werden die Trendsymbole **172** durch geneigte und gekrümmte Linien verzerrt, wie durch die bevorzugten Trendformelemente **176** von [Fig. 5B](#) dargestellt. Diese Verzerrung ist leicht erkennbar und lenkt die Aufmerksamkeit des Benutzers auf die übergehenden Prozeßvariablen und warnt ihn über solche Änderungen. Im Kontext der vollständigen Prozeßschnittstelle können die einzelnen Trendsymbole **172** mit ausführlicheren Informationen über die übergehende Prozeßvariable verknüpft werden, wie oben beschrieben, zum Beispiel durch Auswahl durch Klicken mit einer Maus oder Auswahl mit einer Tastatur.

[0077] Ferner ist für Fachleute erkennbar, daß die in der Prozeßvariablendetail- und Änderungsansichts-anzeigeschnittstellenregion **250** für ein gewähltes Übersichtstrendsymbol **172** gezeigten ausführlicheren Informationen besonders insofern vorteilhaft sind, als sowohl die Anzeigeregion **150** als auch die Anzeigeschnittstellenregion **250** auf einem einzigen Schirmbild angezeigt werden. Folglich wird die Navigation extrem leicht für den Benutzer und der Benutzer kann mehr als eine Art von Informationen auf demselben Schirmbild auswerten.

[0078] Die Prozeßvariablendetail- und Änderungsansichtsanzeigeschnittstellenregion **250** ist in [Fig. 6](#) weiter im Detail gezeigt. Die Prozeßvariablendetail- und Änderungsansichtsanzeigeschnittstellenregion **250** ermöglicht dem Benutzer ein Manipulieren von Steuergrenzen einer Prozeßvariablen und die Ansicht sowohl einer visuellen als auch einer geschriebenen Vorgeschichte der Grenzbereiche und aktuellen Werte einer Prozeßvariablen. Die Anzeigeschnittstellenregion **250** versucht, den Benutzer dabei zu unterstützen, präzise, gut informierte Grenzänderungen in einem sinnvollen Kontext vorzunehmen.

[0079] Die Prozeßvariablendetail- und Änderungsansichtsanzeigeschnittstellenregion **250** enthält einen Trendvorgeschichte-/prädiktionsplot **252**, die Prozeßvariablenskalaanschnittstelle **256** und die Schaltflächenanschnittstelle **258**. Für Fachleute ist erkennbar, daß [Fig. 6](#) etwas von der Anzeigeregion **250** von [Fig. 3](#) modifiziert ist. Im allgemeinen sind jedoch nur Teile des Anzeigeschirms umgeordnet und es werden verschiedene Namen für verschiedene Schaltflächen in bezug auf die Schaltflächenanschnittstelle **258** vorgesehen.

[0080] Die Prozeßvariablenskalaanschnittstelle **256** der Anzeigeschnittstellenregion **250** ermöglichen dem Benutzer im allgemeinen eine Ansicht und Manipulation von aktuellen Grenzen im Kontext des aktuellen Werts der Prozeßvariablen, wie später weiter beschrieben werden wird. Die Schaltflächenanschnittstelle **258** ermöglicht dem Benutzer, Prädiktionen und die Auswirkung einer kleinen Änderung auf eine Grenze anzusehen, der Steuerung zu befehlen, diese Änderungen auszuführen und die Grenzen auf in einem vorherigen Steuerintervall verwendete Werte zurückzuführen. Zum Beispiel bewirkt die Schaltfläche „What If“ **601**, daß die Steuerung eine Iteration in der Gestalt ausführt, daß Prädiktionen in der Anzeigeregion **260** in bezug auf eine durch den Benutzer wie weiter oben beschrieben vorgenommene veränderte Grenze erzeugt und betrachtet werden können. Die „Enter“-Schaltfläche **602** befiehlt der Steuerung dann, diese Grenzänderungen auszuführen, wenn dies der Benutzer wünscht. Die „Restore“-Schaltfläche **603** stellt außerdem, wenn sie ausgewählt wird, die in dem vorherigen Steuerungsintervall benutzten Werte für die Grenzen wieder her, wenn der Benutzer nicht wünscht, Grenzänderungen auszuführen.

[0081] Der Trendvorgeschichte-/prädiktionsplot **252** liefert erweiterte Trendfähigkeit und Flexibilitätzeitmaßstabmanipulationen. [Fig. 8](#) zeigt ein ausführlicheres Diagramm des Trendvorgeschichte-/prädiktionsplots **252**. Zusätzlich zu einer Kurve **350** der Vorgeschichtewerte einer bestimmten Prozeßvariablen zeigt dieser Plot **252** außerdem eine Prädiktionstrendkurve **352** des erwarteten Verhaltens für die Prozeßvariable. Ferner können der Zeitmaßstab

(z.B. ein kürzerer oder längerer Zeitraum) und/oder der Zeitrahmen (z.B. ein früherer oder späterer Zeitraum), der in dem Trendvorgeschichteplot **350** und dem Prädiktionsplot **352** widergespiegelt wird, eingestellt werden.

[0082] Der vertikale Maßstab **357** des Trendvorgeschichte-/prädiktionsplot **252** stimmt mit dem durch die Prozeßvariablenkalaschnittstelle **256** spezifizierten Maßstab überein, wie später weiter beschrieben werden wird. Anders ausgedrückt, sind technische harte Ober- und Untergrenzen für den Plot **252** und die Prozeßvariablenkalaschnittstelle **256** äquivalent. Durch diese Äquivalenz wird es leicht, den Trend mit der Prozeßvariablenkalaschnittstelle **256** zu vergleichen. Zwei Balken, ein Balken oben **354** und ein Balken unten **355**, zeigen die Vorgeschichte von für die Prozeßvariable gesetzten Grenzen. Zum Beispiel spiegelt der untere Balken **355** das Δ zwischen der vom Bediener eingestellten Untergrenze und den technischen harten Untergrenzeinstellungen wider, und der obere Balken **354** zeigt das Δ zwischen der vom Bediener eingestellten Obergrenze und den technischen harten Obergrenzeinstellungen. Wie in [Fig. 8](#) zu sehen ist, spiegelt der untere Balken **355** wider, daß das Δ über das gesamte Zeitfenster hinweg gleich bleibt, während der obere Balken **354** dicker wird, wodurch ein zunehmendes Δ gezeigt wird. Die Farbe des Nebenbedingungsvorgeschichtebalkens kann sich als Funktion des nahe-Grenze-Status des aktuellen Werts der Prozeßvariablen zu benutzerdefinierten Grenzen ändern. Wenn zum Beispiel der aktuelle Wert der Prozeßvariablen zwischen dem vom Bediener eingestellten Ober- und Untergrenzwert liegt, weist der Nebenbedingungsvorgeschichtebalken eine bestimmte Farbe, z.B. grau auf. Wenn der aktuelle Wert in der Nähe des harten Bediener-Ober- oder -Untergrenzwerts liegt, dann nimmt der Balken eine andere Farbe, z.B. gelb an. Wenn zum Beispiel der aktuelle Wert der Prozeßvariablen entweder die vom Bediener eingestellte Ober- oder die Untergrenze um mehr als 1% überschreitet, dann nimmt der Balken ferner noch eine andere Farbe, z.B. rot an.

[0083] Ferner ist in der Prozeßvariablendetail- und Änderungsansichtsanzeigeschnittstellenregion **250** wie in [Fig. 6](#) gezeigt eine Änderungsprotokollierung **260** enthalten. Die Änderungsprotokollierung **260** dokumentiert automatisch kritische Informationen über Grenzänderungen und ermutigt Benutzer dazu, diese zu erklären. Wenn der Benutzer über die Schaltflächenschnittstelle **258** eine Grenzänderung "eingibt", werden ein Protokollierungseintrag mit Feldern, die die Prozeßvariable und verschiedene Parameter, wie zum Beispiel alte und neue Werte, ein Datum und einen Zeitstempel **270**, **272** und den Handelnden spezifizieren, bereitgestellt.

[0084] Die Prozeßvariablenkalaschnittstelle **256**

ist in [Fig. 7A–Fig. 7B](#) in größerem Detail gezeigt und wird mit Bezug auf verschiedene Ausführungsformen dieser beschrieben. Die verschiedenen Prozeßgrenzen, die mit der hier beschriebenen graphischen Benutzeroberfläche **50** implementiert werden können, können eine beliebige Anzahl von Mengen von Grenzen umfassen und die vorliegende Erfindung ist nicht insbesondere auf irgendeinen bestimmten Typ von Menge oder irgendeine Anzahl von Mengen beschränkt. Es werden jedoch vorzugsweise vier Arten von Grenzen in der Prozeßvariablenkalaschnittstelle **256** verwendet, wie mit Bezug auf [Fig. 7A–Fig. 7G](#) beschrieben werden wird. Zuerst wird jedoch eine Definition jeder der vier Grenzen angegeben, um so ein Verständnis der Prozeßvariablenkalaschnittstelle **256** zu erleichtern.

[0085] Im vorliegenden Kontext bedeuten technische physikalische Grenzwerte, Grenzwerte, die die physikalischen Grenzen eines Geräts oder Instruments definieren. Sie repräsentieren den größtmöglichen Umfang einer sinnvollen Quantifizierung einer Prozeßvariablen. Zum Beispiel können sie technische physikalische Grenzen für Meßwerte sein, die ein Sensor bereitstellen kann.

[0086] Im vorliegenden Kontext sind technische harte Grenzwerte die Grenzwerte, die von einem Benutzer, insbesondere einem Steuertechniker, gesetzt werden, um einen Bereich herzustellen, über den ein Bediener oder ein anderer Benutzer vom Bediener gesetzte Grenzwerte sicher setzen kann.

[0087] Im vorliegenden Kontext sind vom Bediener gesetzte Grenzwerte Grenzwerte, durch die Bediener Einfluß auf die Steuerung **14** ausüben. Solche Grenzen stellen den Bereich her, in dem die Steuerlösung frei zu wirken ist, wenn ihr genug Freiheitsgrade gewährt werden.

[0088] Schließlich sind im vorliegenden Kontext weiche Optimierungsgrenzen, die hier ansonsten auch als Delta-Soft-Bänder bezeichnet werden, Pseudogrenzen, die ein Offset innerhalb der vom Bediener gesetzten Grenzen beschreiben, die die Optimierungsberechnungen zu respektieren versuchen werden.

[0089] Die Prozeßvariablenkalaschnittstelle **256** enthält eine Prozeßvariablenkala **280** mit einer Skalenachse **285** (nicht allgemein auf dem Schirmbild angezeigt) und eine Skala **282**, die sich entlang der Skalenachsen **285** und parallel zu dieser erstreckt. Ein oder mehrere Balken **284** erstrecken sich entlang der Skalenachse **285**. Jeder Balken repräsentiert eine Menge von oberen und unteren Prozeßgrenzwerten für eine bestimmte Prozeßvariable. Ferner wird entlang der Skalenachse **285** eine graphische Form, wie zum Beispiel ein Zeiger **297** angezeigt, der den aktuellen Wert der Prozeßvariablen repräsen-

tiert.

[0090] Obwohl die sich entlang der Skalenachse **285** erstreckenden graphischen Balkenelemente **284** eine beliebige Anzahl verschiedener Arten von Grenzen relativ zu der spezifischen Prozeßvariablen repräsentieren können, repräsentieren das graphische Balkenelement bzw. die graphischen Balkenelemente **284** vorzugsweise technische harte Grenzwerte oder vom Bediener gesetzte Grenzwerte. Wahlweise können ein oder mehrere zusätzliche graphische Formen (z.B. ein Zeiger **298**) entlang der Skala **282** positioniert werden, die einen oder mehrere vorhergesagte Werte für die Prozeßvariable anzeigen. Zum Beispiel kann der vorhergesagte Wert ein zukünftiger Wert oder ein stationärer vorhergesagter Wert sein. Ferner könnte man mit der zusätzlichen graphischen Form bzw. den zusätzlichen graphischen Formen Vorgeschichtswerte anzeigen z.B. einen Mittelwert, Extremwerte usw.

[0091] Wie in [Fig. 7A](#) gezeigt, gehört zu dem einen oder den mehreren graphischen Balken **284** ein erster Balken **281**, der sich entlang der Skalenachse **285** erstreckt. Ein erstes oberes Ende **286** des ersten Balkens **281** repräsentiert eine technische harte Obergrenze und ein zweites Ende **288** repräsentiert eine technische harte Untergrenze. Ferner gehört zu dem einen bzw. den mehreren graphischen Balkenelementen **284** ein zweiter Balken **283**, der vorzugsweise im Inneren des ersten Balkens **281** angezeigt wird. Der zweite Balken **283** repräsentiert vom Bediener gesetzte Grenzen. Ein erstes Ende **290** des zweiten Balkens **283** repräsentiert eine vom Bediener gesetzte Obergrenze und ein zweites Ende **291** des zweiten Balkens **283** eine vom Bediener gesetzte Untergrenze. Es ist zu bemerken, daß die Grenzen auch in Textform neben der Skala gezeigt sind. Zum Beispiel ist der technische harte Obergrenzwert in dem Textfeld **301** gezeigt, der vom Bediener gesetzte Obergrenzwert in dem Textfeld **302**, der vom Bediener gesetzte Untergrenzwert in dem Textfeld **304** und die technische harte Untergrenze in dem Textfeld **305**. Der aktuelle Wert der Prozeßvariablen ist in dem Textfeld **303** gezeigt.

[0092] Die schraffierten Regionen neben dem ersten und zweiten Ende **290**, **291** des zweiten Balkens **283**, die den vom Bediener gesetzten Ober- bzw. Untergrenzwert repräsentieren, sind die weichen Optimierungsgrenzen. Diese Grenzen definieren das Delta-Soft-Oberband **295** und das Delta-Soft-Unterband **296**. Die schraffierten Markierungen sind so ausgelegt, daß, wenn sich die Delta-Soft-Obergrenze und Delta-Soft-Untergrenze überlappen (z.B. wenn die Delta-Soft-Ober- und -Untergrenzen im Vergleich zu der Region, die durch die vom Bediener gesetzte Ober- und Untergrenze definiert wird, groß sind), die diagonalen Schraffierungsmarkierungen an einem Punkt, z.B. einer Linie auf dem Graphen (siehe

[Fig. 7C](#)) relativ zu dem jeweiligen Anteil der Delta-Soft-Ober- und -Untergrenzen konvergieren. Dieses neu auftretende Merkmal der graphischen Anzeige repräsentiert genau einen Pseudosollwert, d.h., den Zieloptimierungswert, der von dem Optimierungsalgorithmus verwendet wird, wenn sich die Delta-Soft-Bänder überlappen. Die Steuerung **14** versucht, wenn überhaupt möglich, die Prozeßvariable auf den Pseudosollwert zu steuern.

[0093] Die Prozeßvariablenskala **280** enthält ferner ein Obergrenzenmanipulationsflag **292** und ein Untergrenzenmanipulationsflag **293**. Diese Manipulationsflags **292**, **293** können von einem Benutzer zur Änderung der gesetzten Grenzwerte verwendet werden. Abhängig von dem Autoritätsniveau eines Benutzers werden zum Beispiel die Manipulationsflags auf die Grenzbalken fixiert, so daß der Benutzer diese manipulieren kann, wenn er dazu autorisiert ist. Obwohl (wie in [Fig. 7A](#) gezeigt) z.B. nur das Obergrenzenmanipulationsflag **292** und das Untergrenzenmanipulationsflag **293** als sich von den vom Bediener gesetzten Grenzwerten erstreckend gezeigt sind, so daß Grenzen von einem autorisierten Benutzer modifiziert werden können, können sich zusätzliche Manipulationsflags von den Enden des ersten Balkens **281** auf ähnliche Weise erstrecken, um es so einem Benutzer, z.B. einem Techniker mit der ordnungsgemäßen Autorität, zu erlauben, die technischen harten Grenzwerte zu modifizieren. Ferner können sich solche Manipulationsflags von Enden der Delta-Soft-Bänder **295**, **296** erstrecken, um es einem Benutzer zu ermöglichen, die weichen Optimierungsgrenzen zu modifizieren.

[0094] Die angezeigten Grenzen und der aktuelle Wert für eine Prozeßvariable sind auf einer einzigen Skala entlang einer einzelnen Skalenachse **285** gezeigt, um einen gleichförmigen Bezugsrahmen zu erzeugen. Benutzer können an den Grenzen Änderungen vornehmen, indem sie traditionelle Texteingangsänderungen in den Textfeldern **301–302** und **304–305** vornehmen, oder durch Ziehen der Manipulationsflags **292**, **293** entlang der Skalenachse **285**. Diese Kombination von Merkmalen fördert sinnvolle Änderungen an Grenzen, da es dem Benutzer ermöglicht, in einem gleichförmigen Bezugsrahmen mit relevanten Informationen in Wechselwirkung zu treten.

[0095] Die Skala **282** der Prozeßvariablenskala **280** stellt sich automatisch ein, um sicherzustellen, daß die Daten der Skala in einem sinnvollen Kontext angezeigt werden. Wie zum Beispiel in [Fig. 7C](#) gezeigt ist, wird, wenn der aktuelle Wert einer Prozeßvariablen, der durch den Pfeil **297** repräsentiert wird, außerhalb des technischen harten Grenzbereichs liegt, die Skala **282** dann dynamisch umkalibriert, um auf der Skala **282** den Bereich der vom Bediener gesetzten Grenzwerte plus einer zusätzlichen Reserve von

20% zu zeigen. Anders ausgedrückt, wechselt die Skala von einem Endwert von 2.000 zu einem Endwert von 2.200. Nur ein Ende der Skala **282**, an dem die Exkursion stattfindet, wird zurückgesetzt, und die anderen graphischen Elemente werden eingestellt, so daß sie auf die neue Skala passen. Die Skala **282** stellt sich inkrementell ein, während der aktuelle Wert der Prozeßvariablen weiter von dem technischen harten Grenzbereich wegwandert. Jedesmal, wenn der Pfeil innerhalb von 5% des Endes der Skala **282** kommt, wird zum Beispiel der Bereich der Skala um zusätzliche 20% des technischen harten Grenzbereichs eingestellt. Eine solche zusätzliche Umskalierung ist zum Beispiel in [Fig. 7D](#) gezeigt, während sich der aktuelle Wert 2.160 nähert, wie durch den Zeiger **297** gezeigt. Der Skalenbereich wird dann auf 2.640 erhöht, also zusätzliche 20% des in [Fig. 7C](#) gezeigten vorherigen Skalenbereichs.

[0096] Mit einer Farbcodierung des Zeigers **297** oder anderer Elemente der Prozeßvariablenkala **280** können Beziehungen zwischen dem aktuellen Wert der Prozeßvariablen und den vom Benutzer definierten Grenzen für die Prozeßvariable widerspiegelt werden. Zum Beispiel kann die graphische Form bzw. der Zeiger **297** eine bestimmte Farbe aufweisen, z.B. grau, wenn der aktuelle Wert der entsprechenden Prozeßvariablen innerhalb des technischen harten Ober- bzw. Untergrenzwerts liegt (siehe [Fig. 7B](#)). Wenn der aktuelle Wert der entsprechenden Prozeßvariablen in der Nähe entweder des technischen Ober- oder Untergrenzwerts liegt (z.B. innerhalb von 1%), dann kann der Zeiger **297** eine andere Farbe aufweisen, z.B. gelb (siehe [Fig. 7C](#)). Wenn der aktuelle Wert der entsprechenden Prozeßvariablen, wie durch den Aktuellwertzeiger **297** repräsentiert, um mindestens einen bestimmten Prozentsatz außerhalb der technischen harten Ober- bzw. Untergrenze liegt, dann kann der Zeiger **297** noch eine andere Farbe aufweisen, z.B. rot (siehe [Fig. 7D](#)).

[0097] Wie in [Fig. 7D](#) gezeigt, liegt der aktuelle Wert für die Prozeßvariable außerhalb der durch den Balken **281** repräsentierten technischen harten Grenzen. In einem solchen Fall können die technischen physikalischen Grenzen für die Prozeßvariable entlang der Skalenachse **285** repräsentiert werden, wie durch den gestrichelt gezeichneten Balken **299** gezeigt. Ferner könnte ein solcher Balken **299** eine bestimmte Farbe aufweisen, wodurch der Benutzer auf solche Exkursionen des aktuellen Werts aufmerksam gemacht wird, oder das graphische Element **299** kann eine einfache Linie oder ein Zeiger auf der Skala **282** sein, die bzw. der die technischen physikalischen Grenzen für die Prozeßvariable repräsentiert. Auf bestimmte Weise werden die technischen physikalischen Grenzen jedoch entlang der Skalenachse **285** repräsentiert.

[0098] Zwei weitere beispielhafte Ausführungsfor-

men von Fällen, bei denen die Prozeßvariablenkala **280** ein anderes Erscheinungsbild aufweisen kann, liegen vor, wenn die Prozeßvariable eine Störungsvariable ist und wenn die technischen harten Grenzwerte nicht definiert sind. Wie zum Beispiel in [Fig. 7E](#) gezeigt, ist für eine Störungsvariable die Prozeßvariablenkala **280** relativ einfach und besteht nur aus einer Skala **282** und einem Zeiger **297** für den aktuellen Wert der Störungsvariablen. Es sollte beachtet werden, daß die Einfachheit der Störungsvariablenkala ein Ergebnis des Umstandes ist, daß Störungsvariablen nicht steuerbar sind, sondern lediglich der Steuerung Informationen liefern.

[0099] [Fig. 7F](#) repräsentiert eine beispielhafte Prozeßvariablenkala **280**, wenn keine technischen harten Grenzwerte definiert wurden. Wie dort gezeigt, werden solche Grenzen einfach von der Prozeßvariablenkala **280** entfernt. Wenn die technischen harten Grenzwerte nicht definiert sind, basiert die Skala **282** auf vom Bediener gesetzten Grenzen. Zum Beispiel kann die Skala 120% des Bereichs der vom Bediener gesetzten Grenzen betragen.

[0100] Außerdem sind andere beispielhafte Ansichten der Prozeßvariablenkala **280** möglich. Wenn zum Beispiel ein gemeldeter Wert einer Prozeßvariablen nicht innerhalb des technischen oberen oder unteren Grenzbereichs liegt, oder Daten empfangen werden, die nicht rational sind, dann kann die Hintergrundfarbe zu einem helleren Gelb wechseln und/oder ein Pfeil kann in einem Schattenmodus gezeigt werden, der sich an dem letzten bekannten guten Wert befindet. Der Schattenpfeil dient zum Anzeigen, daß der Wert der Prozeßvariablen unbestimmt ist. Der Schattenpfeil könnte einen Analysierewert repräsentieren, der bei der aktuellen Steuerungsiteration nicht aktualisiert wurde, oder den letzten bekannten guten Wert für eine Variable repräsentieren, die ihr Signal verloren hat.

[0101] Wie in [Fig. 7G](#) gezeigt, überlappen sich die schraffierten Regionen für das Delta-Soft-Obergrenzband und das Delta-Soft-Untergrenzband **295**, **296**, wenn das Delta-Soft-Obergrenzband plus das Delta-Soft-Untergrenzband größer als der Bereich zwischen dem unteren und oberen vom Bediener gesetzten Grenzwert ist. Wenn dies geschieht, treffen sich die beiden schraffierten Bänder an einer Linie die bei (vom Bediener gesetzter unterer Grenzwert) + $\frac{[(\text{Delta-Soft-Untergrenzband}) \cdot (\text{Delta-Soft-Obergrenzband} + \text{Delta-Soft-Untergrenzband})]}{2}$ liegt. Wenn eine solche Delta-Soft-Überlappung auftritt, sollte der durch den Zeiger **297** repräsentierte aktuelle Wert am Schnittpunkt der schraffierten Regionen, d.h. am Pseudosollwert, optimiert werden. Dementsprechend können die Delta-Soft-Ober- und -Untergrenzbänder so gesetzt werden, daß eine Prozeßvariable bereitgestellt wird, die auf einen Ruhewert, d.h. Pseudosollwert, optimiert ist, wie in [Fig. 7G](#) gezeigt.

Es versteht sich, daß der Bereich des Delta-Soft-Obergrenzbands im Vergleich zu dem Delta-Soft-Untergrenzband bestimmt, wo sich innerhalb der Delta-Soft-Überlappung der aktuelle Wert optimieren wird. Wenn zum Beispiel das Delta-Soft-Obergrenzband zweimal so groß wie das Delta-Soft-Untergrenzband ist, optimiert sich der aktuelle Wert an einer Position zwei Drittel aufwärts der vom Bediener gesetzten Untergrenze in den schraffierten Regionen, die die Delta-Soft-Überlappung repräsentieren, wie durch die obige Berechnung angezeigt, d.h. (vom Bediener gesetzter unterer Grenzwert) + $\frac{[(\text{Delta-Soft-Untergrenzband})/(\text{Delta-Soft-Obergrenzband} + \text{Delta-Soft-Untergrenzband})]}$.

[0102] Benutzer können auf vielerlei Weise die Grenzen manipulieren, zu denen sie Zugang haben. Zum Beispiel werden hier mindestens zwei repräsentiert. Benutzer können eine traditionelle Texteingabe verwenden, wie zum Beispiel in Bezug auf die Textfelder **301–302** und **303–304**, die rechts der Prozeßvariablenkala **280** angezeigt werden. Alternativ dazu können sie mit den Grenzflags **292**, **293** die fraglichen Grenzen direkt manipulieren. Dies könnte zum Beispiel durch Klicken auf das Grenzflag und Ziehen dieses zu dem neuen Wert erreicht werden. Wenn der Benutzer die beiden Bedienergrenzflags auf einen selben Wert zieht, erscheint eine einzige schwarze Linie, wobei die beiden Grenzflags sichtbar sind. Dies ist dann ein Anzeiger für die Sollwertsteuerung. Vorzugsweise wird dem Benutzer nicht erlaubt, das vom Bediener gesetzte Untergrenzflag **293** auf einen Wert zu ziehen, der größer als das vom Bediener gesetzte Obergrenzflag **292** ist oder umgekehrt. Ungeachtet der zum Vornehmen einer Änderung verwendeten Technik werden die Textfelder rechts der Prozeßvariablenkala **280** blau, bis die Enter- oder Restore-Schaltfläche der Schaltflächenschnittstelle **258** betätigt wird, um so entweder die Änderung in Grenzen zu implementieren oder zuvor angezeigte Grenzen wiederherzustellen.

[0103] Die Prozeßvariablenkala **280** dient zum Überwachen und Manipulieren von mit einer bestimmten Prozeßvariablen assoziierten Parametern, vorzugsweise in einem kontinuierlichen Mehrvariablenprozeß. Durch die Integration der Repräsentation relevanter Informationen, z.B. der Balkenskala, und die Fähigkeit zur Änderung steuerbarer Parameter kann ein Benutzer schwierige Steueränderungen vornehmen.

[0104] Die Mehrvariablen-Prozeßmatrixanzeigeregion **200** enthält die Mehrvariablen-Prozeßmatrixanzeige **201** und andere Anzeigen, wie zum Beispiel Prozeßvariablendetail, wie mit Bezug auf [Fig. 11](#) gezeigt und weiter beschrieben. Zum Beispiel wird durch Klicken auf den Matrix-Reiter in dem Reiterteil **211** der Region **200** die Matrixanzeige **201** angezeigt,

während durch Klicken oder Auswählen des Prozeßvariablendetailreiters der Reiterregion **211** wie in [Fig. 11](#) gezeigt die Prozeßvariablendetailanzeige **230** angezeigt wird.

[0105] Die Mehrvariablen-Prozeßmatrixanzeige **201** enthält im allgemeinen ein Matrix-Array von Informationen **218**, das Informationen enthält, die mindestens eine Beziehung zwischen einer oder mehreren gesteuerten Variablen und einer oder mehreren manipulierten Variablen beschreiben, oder Informationen, die eine oder mehrere Eigenschaften einer oder mehrerer Prozeßvariablen beschreiben. Vorzugsweise werden eine oder mehrere gesteuerte Variablen **204** entlang einer ersten Achse des Matrix-Array **218** und eine oder mehrere manipulierte Variablen **206** entlang einer zweiten Achse des Matrix-Array **218** angezeigt. Wie in [Fig. 9](#) gezeigt, können ferner Störungsvariablen **208** entlang derselben Achse mit den manipulierten Variablen **206** angezeigt werden.

[0106] Die gesteuerten Variablen **204** und die manipulierten Variablen **206** und Störungsvariablen **208** sind eine Menge von entlang den Achsen der Matrix **218** angezeigten Textlabels. Vorzugsweise enthält das Matrix-Array von Informationen **218** jegliche Informationen, die eine Beziehung zwischen den gesteuerten Variablen und den manipulierten Variablen **206** beschreiben, wie zum Beispiel Verstärkungswerte, Verstärkungsverzögerungsplots, Verzögerungswerte, Einflußrichtung usw. Besonders bevorzugt umfassen solche Informationen Verstärkungswerte **408**. Eine Verstärkungswertematrix, die die Beziehung zwischen gesteuerten Variablen **204** und manipulierten Variablen **206** zeigt, wurde mindestens teilweise in den vorherigen Anzeigen zur Verwendung mit Steuerungen verwendet. Wie zum Beispiel auf Seiten **93** in dem Honeywell-Benutzerhandbuch beschrieben wird, auf das hiermit vollständig Bezug genommen wird, wird auf einem Anzeigeschirm ein Matrix-Array gezeigt, das Verstärkungswerte für eine Tabelle manipulierter Variablen, gesteuerter Variablen und Störungsvariablen enthält.

[0107] Die in [Fig. 9](#) gezeigte Matrixanzeige **201** verwendet die bekannte Verstärkungsmatrix. Zum Beispiel ist ein solches Verstärkungsmatrix-Array **218** eine Tabelle stationärer Verstärkungswerte **408** zwischen manipulierten Variablen und Störungsvariablen spaltenweise als Array angeordnet, relativ zu jeder der zeilenweise als Array angeordneten gesteuerten Variablen. Die Verstärkungswerte **408** weisen sowohl einen Betrag als auch ein Vorzeichen auf. Um die Komplexität der Matrixinformationen zu reduzieren, können die Verstärkungswerte **408** durch die Symbole $-/0/+$ ersetzt werden, um den Richtungseinfluß anzuzeigen, den eine manipulierte oder Störungsvariable auf eine gesteuerte Variable hat, ohne den Verstärkungsbetrag zu spezifizieren. Wenn die Anzahl von Spalten oder Zeilen für eine große Anzahl

von Prozeßvariablen den verfügbaren Anzeigeraum übersteigt, kann Rollbalken **216** und **214** Zugang zu allen Prozeßvariablen bereitgestellt werden.

[0108] Obwohl eine Verstärkungsmatrix bekannt ist, liefert die vorliegende Erfindung jedoch zusätzliche oder ergänzende Elemente und/oder Techniken in Kombination mit der bekannten Verstärkungsmatrix, um die Werkzeuge für einen Benutzer zur effektiven Verwendung der Verstärkungsmatrix bereitzustellen. Wie zum Beispiel in [Fig. 9](#) gezeigt, können gewählte Prozeßvariablen in der Matrixanzeige **201** mit einem farbigen Rechteck, das um die gesamte gewählte Spalte oder Zeile gezeichnet wird, hervorgehoben werden. Eine solche gewählte Prozeßvariable ist zum Beispiel durch ein Rechteck **406** gezeigt, das um „C3 yield“ und seine zugeordnete Zeile herum konstruiert wird. Eine solche hervorgehobene Zeile ermöglicht es einem Benutzer, sich auf eine bestimmte Prozeßvariable zu konzentrieren, und zeigt, wie später weiter beschrieben werden wird, ausführlichere Informationen bezüglich der Prozeßvariablen in der Region **250**.

[0109] Ferner ist zum Beispiel die Verwendung einer Farbe als visueller Hinweis ein weiteres ergänzendes graphisches Werkzeug, das mit der herkömmlichen Verstärkungsmatrix verwendet wird. Zum Beispiel werden unter normalen Bedingungen die Verstärkungswerte in schwarzem Text auf einem weißen Hintergrund angezeigt. Die Textfarbe und die Hintergrundfarbe können jedoch verändert werden, um als visuelle Hinweise zu dienen. Zum Beispiel zeigt ein grau dargestellter Text in einer Spalte oder Zeile, wie zum Beispiel durch die Zeilen **403**, **405** dargestellt, daß eine Prozeßvariable aus der Steuerung herausgenommen wurde. Ferner kann eine grau dargestellte Zeile oder Spalte anzeigen, daß sich eine Prozeßvariable in einem Zustand befindet, der die Steuerung einen Freiheitsgrad kostet, wenn z.B. die gesteuerte Variable auf einen Sollwert oder bis zu einem Grenzwert beschränkt wird, wie in den Zeilen **402**, **404** und Spalte **400** gezeigt. Ferner könnten zum Beispiel Spaltenhervorhebungs- oder Zeilenhervorhebungsschirmbilder von einem Pulldown-Menü in dem Werkzeugbalken ausgewählt werden. Zum Beispiel ist eine Möglichkeit, eine grau dargestellte Zeile oder Spalte anzuzeigen, um eine Variable anzuzeigen, die sich in einem Zustand befindet, der nicht Teil der Endlösungsgleichung ist, wenn z.B. eine gesteuerte Variable nicht auf einer Nebenbedingung oder eine manipulierte Variable auf einer Nebenbedingung liegt. Ferner ist eine alternative Möglichkeit das Hervorheben der Zeilen und Spalten, die mit Variablen assoziiert sind, an denen der Benutzer Änderungen vornehmen kann, um die Integrität der Steuerung zu verbessern (z.B. eine manipulierte Variable an einer vom Bediener gesetzten Grenze, die sich innerhalb der technischen harten Grenzen befindet, oder eine auf den Sollwert beschränkte gesteuerte

Variable). Zusätzlich können weitere Annotations-techniken hinzugefügt oder derzeitige Techniken modifiziert werden, um Benutzeranwendungen zu dienen.

[0110] Ferner und vorzugsweise ist ein ergänzendes graphisches Werkzeug, das einen Teil der Mehrvariablen-Matrixanzeige **201** bildet, die zusammenfassende Skalenanzeige **210**. Die zusammenfassende Skalenanzeige **210** enthält mehrere graphische Einrichtungen **212**. Jede graphische Einrichtung **212** repräsentiert mindestens einen Zustand einer entsprechenden Prozeßvariablen. Zum Beispiel kann die graphische Einrichtung **212** eine beliebige graphische Repräsentation des Zustands des aktuellen Werts für die von ihr repräsentierte Prozeßvariable sein. Ferner kann es sich bei der graphischen Einrichtung **212** zum Beispiel sogar um Textinformationen in bezug auf den aktuellen Wert einer bestimmten Prozeßvariablen in Kombination mit einer oder mehreren, mit der Prozeßvariablen assoziierten Mengen von Grenzwerten handeln.

[0111] Vorzugsweise enthält die zusammenfassende Skalenanzeige **210** eine graphische Einrichtung **212** für jede in der Matrixanzeige **201** angezeigte Prozeßvariable. Vorzugsweise wird die graphische Einrichtung in der Nähe der Prozeßvariablen positioniert, der sie entspricht, z.B. an einer Position, an der ein Benutzer sowohl den Zustand der durch die graphische Einrichtung **212** gezeigten Prozeßvariablen als auch die Verstärkungswerte in dem Matrix-Array **218** visuell bewerten kann. Besonders bevorzugt befindet sich die graphische Einrichtung **212** direkt neben der Textauflistung der Prozeßvariablen, z.B. zwischen dem Matrix-Array **218** und der Auflistung der Prozeßvariablen. Besonders bevorzugt ist jede der graphischen Einrichtungen **212** eine Zusammenfassung oder verallgemeinerte graphische Einrichtung, wie später ausführlicher mit Bezug auf [Fig. 10](#) beschrieben wird.

[0112] Die Matrixanzeige **201** enthält ferner einen Freiheitsgradanzeiger **213**. Der Freiheitsgradanzeiger **213**, der sich in der oberen linken Ecke der Matrixanzeigeschnittstelle **201** befindet, liefert eine Anzeige der Integrität der Steuerung. Der Freiheitsgradanzeiger **213** enthält eine sich von der Verstärkungsmatrix **218** weg erstreckende diagonalen Linie, eine kleine Box am Ende dieser Linie und eine Ziffer auf jeder Seite der Linie. Die Ziffer über der Linie (die immer als ein positiver Wert ausgedrückt wird) ist ein Zählwert der Anzahl manipulierter Variablen in der Steuerung, die sich nicht auf einer Nebenbedingung oder Grenze befinden, d.h. manipulierte Variablen, die zur Steuerung gesteuerter Variablen benutzt werden können. Die Ziffer unter der Linie (die als ein negativer Wert ausgedrückt wird) ist ein Zählwert, der Anzahl gesteuerter Variablen, die auf Sollwerte beschränkt sind, oder die auf oder außerhalb von Nebenbedin-

gungen liegen, d.h. gesteuerte Variablen, die von der Steuerung **14** behandelt werden müssen. Der Wert in der Box repräsentiert die Summe dieses positiven und negativen Werts und wird als der Freiheitsgradanzeigerwert bezeichnet. Solange die Summe größer oder gleich 0 ist, kann die Steuerung die gesteuerten Variablen auf ihren Sollwerten oder innerhalb ihrer Bereiche erhalten. Wenn die Summe ein negativer Wert wird, wird vorzugsweise die Hintergrundfarbe der Box in eine bestimmte Farbe verwandelt, z.B. lila, um anzuzeigen, daß ein wichtiger Übergang stattgefunden hat.

[0113] Die Möglichkeit, genaue Freiheitsgradberechnungen durchzuführen, hängt von der Identifikation stationärer Verstärkungskoeffizienten zwischen jeder manipulierten Variablen und Störungsvariablen und jeder gesteuerten Variablen in der Steuerung ab. Dies wird als eine „volle Matrix“ bezeichnet. Eine volle Matrix ist für eine effiziente Steuerung des Prozesses nicht erforderlich und wird manchmal aus Gründen der Kosten und rechnerischen Komplexität nicht erhalten. Die erforderlichen Daten zum Erzeugen eines Freiheitsgradanzeigeelements werden deshalb nicht bei allen Instanziierungen der Steuerung verfügbar sein.

[0114] Ein zusätzliches Merkmal der Matrixanzeige **201** ist die Möglichkeit, die Matrixanzeige **201** als eine Tafel zu verwenden, auf der auf weitere Informationen zugegriffen werden kann. Da zum Beispiel alle Prozeßvariablen in der Steuerung **14** in der Matrixanzeige **201** repräsentiert sind, kann die Matrixanzeige **201** im Kontext einer größeren Schnittstelle als ein Navigationswerkzeug benutzt werden. Die Zeilen und Spalten können mit ausführlicheren Informationen für Prozeßvariablen (z.B. in anderen Anzeigeregionen) verknüpft werden, auf die durch einen Auswahlmechanismus, wie zum Beispiel das Doppelklicken einer Maus, zugegriffen werden kann. Zum Beispiel führt das Wählen einer der Prozeßvariablen **204**, **206**, **208** dazu, daß ausführliche Informationen in der Prozeßvariablendetail- und Änderungsansichtsanzeigeschnittstellenregion **250** angezeigt werden, die auf demselben Schirmbild mit der Matrixanzeige **201** gezeigt wird.

[0115] Zusätzlich können die angezeigten Prozeßvariablen als Funktion einer oder mehrerer Eigenschaften, z.B. Eigenschaften der Prozeßvariablen wie zum Beispiel Nähe an Grenzen, Optimierungseigenschaften usw. oder Eigenschaften von Beziehungen zwischen Prozeßvariablen, wie z.B. der stärksten Verstärkungsbeziehung zwischen manipulierten Variablen und gesteuerten Variablen, positiven Verstärkungsbeziehungen usw. gefiltert oder sortiert werden. Bei Sortierung als Funktion einer oder mehrerer Eigenschaften werden die angezeigten Prozeßvariablen in der Matrixanzeige umgeordnet, z.B. werden bestimmte Variablen an der obersten Position

der aufgelisteten Variablen angezeigt. Bei Filterung werden nur bestimmte der Prozeßvariablen, die Filterungskriterien erfüllen, in der Matrixanzeige angezeigt.

[0116] Ferner kann die Matrixanzeige **201** dazu dienen, Informationen über unabhängig ablaufende rechnerische Algorithmen zu präsentieren. Zum Beispiel kann eine Empfindlichkeitsanalyse bestimmen, wie weit eine Variablenprozeßgrenze gelockert werden kann, bevor eine Änderung der anderen Prozeßvariablenwerte stattfindet. Diese Art von Informationen kann auf die Matrixanzeige **201** abgebildet werden, weil alle Prozeßvariablen repräsentiert werden und die Verstärkungen wichtige Kontributoren für den Algorithmus selbst sind. Kurzgefaßt, liefert die Matrixanzeige **201** einen geeigneten Hintergrund für die Präsentation nützlicher Informationen für Benutzer.

[0117] Weiterhin enthält die Matrixanzeige **201** einen Rollbalken **421** oder ein beliebiges anderes manipulierbares Element, mit dem der für die Matrixanzeige **201** und die zusammenfassende graphische Anzeige **210** zutreffende Zeitrahmen verändert werden kann. Statt daß aktuelle Werte durch jede der graphischen Einrichtungen **212** repräsentiert werden, könnte zum Beispiel ein Wert für ein vergangenes oder zukünftiges Datum repräsentiert werden.

[0118] Mit der Matrixanzeige **201** kann man den stationären Effekt vorhersagen, den eine Änderung an einer manipulierten **206** oder Störungsvariablen **208** auf eine gesteuerte Variable **204** haben wird. Solche Informationen können Benutzern dabei helfen, zu verstehen, wodurch eine beobachtete Verhaltensänderung in einer gesteuerten Variablen verursacht wird, oder die Auswirkung einer geplanten Manipulation auf eine gesteuerte Variable vorherzusagen. Um eine solche Nützlichkeit bereitzustellen, werden die graphischen Einrichtungen **212** vorzugsweise in der Nähe ihrer entsprechenden Prozeßvariablen präsentiert.

[0119] Diese zusammenfassenden graphischen Einrichtungen **212**, die bei einer Ausführungsform als Bubble-Skalen bezeichnet werden, sind einfache graphische Einrichtungen, die den Zustand einer Prozeßvariablen im Kontext ihrer Steuerparameter und wahlweise ihrer Optimierungsparameter beschreiben. Eine solche einfache graphische Einrichtung **212** ist primär dafür bestimmt, einem Benutzer einen allgemeinen Eindruck der Beziehung zwischen dem aktuellen Wert einer Prozeßvariablen und einer oder mehreren vom Benutzer definierten Grenzen, z.B. dem vom Bediener gesetzten Grenzen und den technischen harten Grenzen für eine solche Prozeßvariable, zu geben. Durch die einfache Präsentation solcher Informationen wird dem Benutzer zusammenfassend gezeigt, wo er Raum zur Manipulation von Grenzen hat, um eine auf Nebenbedingungen

basierende Steuerung **14** zu unterstützen, und der Benutzer kann den aktuellen Status der Prozeßvariablen in Beziehung zu gesetzten Grenzen bewerten. Ferner kann man mit solchen einfachen graphischen Einrichtungen **212** den aktuellen Wert einer Prozeßvariablen im Kontext ihres Optimierungsziels zeigen. Dadurch kann der Benutzer bewerten, wie gut dieses Ziel durch eine bestimmte Prozeßvariable erreicht wird.

[0120] **Fig. 10** zeigt eine beispielhafte Menge von zusammenfassenden graphischen Einrichtungen **452**. Die Menge zusammenfassender graphischer Einrichtungen **452**, z.B. Bubble-Skalen, illustriert verschiedene Zustände für eine Prozeßvariable. Im allgemeinen enthält jede der zusammenfassenden graphischen Einrichtungen **452** eine Achse **501** und mindestens ein Paar von Ober- und Untergrenzelementen (z.B. **500**, **502**), die auf der Skalenachse angezeigt werden und vom Benutzer definierte Prozeßgrenzwerte für eine entsprechende Prozeßvariable repräsentieren. Eine graphische Form **504** (z.B. ein kleiner hohler Kreis im Fall einer zusammenfassenden graphischen Einrichtung des Bubble-Skalentyps) dient zur Repräsentation eines Zustands, z.B. des aktuellen Werts, der Prozeßvariablen auf der Skalenachse **501** relativ zu den vom Benutzer definierten Prozeßgrenzwerten für die Prozeßvariable, d.h. die graphische Form **504** ist auf der Achse **501** an einer Position gezeigt, die den aktuellen Wert der Prozeßvariablen anzeigt. Vorzugsweise wird der aktuelle Wert der Prozeßvariablen repräsentiert. Es können jedoch auch zusätzlich zu dem aktuellen Wert oder anstelle des aktuellen Werts vorhergesagte zukünftige Werte und/oder Vorgeschichtewerte gezeigt werden.

[0121] Diese sehr simplistische Form der Repräsentation des Zustands, z.B. des aktuellen Werts, einer Prozeßvariablen relativ zu einer oder mehreren Mengen von Grenzen ermöglicht dem Benutzer eine schnelle Bewertung einer bestimmten Prozeßvariablen. Zusätzlich zu der den aktuellen Wert der Prozeßvariablen repräsentierenden graphischen Form kann ferner ein graphisches Symbol wie das in den beispielhaften zusammenfassenden graphischen Einrichtungen **452h**, **452i** und **452j** zur Repräsentation von mit der der graphischen Einrichtung entsprechenden Prozeßvariablen assoziierten Optimierungsinformationen verwendet werden.

[0122] Die beispielhaften zusammenfassenden graphischen Einrichtungen **452a–j** werden ausführlicher beschrieben, um die durch solche beispielhafte Ausführungsformen repräsentierten Zustände zu veranschaulichen. Die zusammenfassende graphische Einrichtung **452a** repräsentiert einen Normalzustand, wobei vom Bediener gesetzte Grenzen **502** und technische harte Grenzen **500** gezeigt sind. Zum Beispiel können solche technischen harten Grenzen oder

vom Bediener gesetzten Grenzen **502** durch sich orthogonal zu der Skalenachse **501** erstreckende parallele Linien repräsentiert werden. Für Fachleute ist jedoch erkennbar, daß solche vom Bediener gesetzten Grenzen **502** und technischen harten Grenzen **500** durch ein beliebiges graphisches Element mit simplistischer Beschaffenheit, das effektive Benutzerebewertung ermöglicht, repräsentiert werden können. Anstelle von parallelen Linien können zum Beispiel andere graphische Elemente, wie etwa Dreiecke, Kurven, Zeiger usw. zur Darstellung solcher Grenzen verwendet werden. Die graphische Form **504** ist an einer Position auf der Achse **501** gezeigt, die den aktuellen Wert der Prozeßvariablen repräsentiert, der die graphische Einrichtung entspricht.

[0123] Die zusammenfassende graphische Einrichtung **452b** repräsentiert einen Normalzustand, wobei vom Bediener gesetzte Grenzen auf die technischen harten Grenzen **500** gesetzt sind. Folglich erscheinen die parallelen Linien im allgemeinen in doppelter Dicke an den äußeren Regionen für die zusammenfassende graphische Einrichtung entlang der Skalenachse **501**. Die graphische Form **504** ist an einer Position auf der Achse **501** gezeigt, die den aktuellen Wert der Prozeßvariablen repräsentiert, der die graphische Einrichtung entspricht, zum Beispiel befindet sich bei dieser Darstellung der aktuelle Wert in der Mitte der technischen harten Grenzen **500** und der vom Bediener gesetzten Grenzen **502**.

[0124] Die zusammenfassende graphische Einrichtung **452c** repräsentiert einen Normalzustand für den aktuellen Wert, wobei keine technischen harten Grenzen definiert sind. Folglich ist nur eine Menge paralleler Linien **502**, die die vom Bediener gesetzten Grenzen repräsentiert, in der zusammenfassenden graphischen Einrichtung **452c** gezeigt. Die graphische Form **504** ist an einer Position auf der Achse **501** gezeigt, die den aktuellen Wert der Prozeßvariablen repräsentiert, der die graphische Einrichtung entspricht, zum Beispiel befindet sich bei dieser Darstellung der aktuelle Wert in der Mitte der technischen harten Grenzen **500** und der vom Bediener gesetzten Grenzen **502**.

[0125] Die zusammenfassende graphische Einrichtung **452d** repräsentiert einen aktuellen Wert innerhalb von 0,1% einer der beiden vom Bediener gesetzten Grenzen **502**. Bei einer solchen Konfiguration befindet sich die graphische Form **504** direkt neben einer der die vom Bediener gesetzten Grenzen repräsentierenden parallelen Linien.

[0126] Die zusammenfassende graphische Einrichtung **452e** repräsentiert einen aktuellen Wert für die Prozeßvariable, der mehr als 1% außerhalb der vom Bediener gesetzten Grenzen **502**, aber innerhalb der technischen harten Grenzen **500** liegt. Folglich befindet sich die graphische Form **504** zwischen einer

vom Bediener gesetzten Grenze **502** und einer technischen harten Grenze **500**.

[0127] Die zusammenfassende graphische Einrichtung **452f** repräsentiert einen normalen aktuellen Wert für die Prozeßvariable, die auf Sollwert beschränkt ist. Bei einer solchen Konfiguration wird die graphische Form **504** zwischen die technischen harten Grenzen **500** und eine einzige Tangentiallinie gesetzt, wobei Flügelspitzen **506** gezeichnet sind, um den Ort des Sollwerts zu vermerken. Es versteht sich, daß jedes beliebige zusätzliche graphische Symbol mit der graphischen Form **504** verwendet werden kann, um den Ort eines Sollwerts zu vermerken. Zum Beispiel kann im Gegensatz zu der einzigen Tangentiallinie mit Flügelspitzen **506** ein auf die Skalenachse **501** gerichteter Zeiger verwendet werden.

[0128] Die zusammenfassende graphische Einrichtung **452g** repräsentiert eine Prozeßvariable in einem Anschlagzustand. Anders ausgedrückt, liegen andere Prozeßvariablen mit Grenzen, die sich auf diese bestimmte Prozeßvariable auswirken, an Grenzen und deshalb ist diese bestimmte Variable am Anschlag. Mit einer Steuerung **14** kann ein solcher Anschlag-Prozeßvariablenzustand erkannt werden, um so der graphischen Schnittstelle eine Anzeige eines solchen Sachverhalts zuzuführen. Wie in [Fig. 10](#) gezeigt, wird der Anschlagzustand durch eine gestrichelte Linie **508** neben der graphischen Form **504** repräsentiert. Die graphische Form **504** ist an einer Position auf der Achse **501** gezeigt, die den aktuellen Wert der Prozeßvariablen repräsentiert, der die graphische Einrichtung entspricht, z.B. befindet sich bei dieser Darstellung der aktuelle Wert zwischen den technischen harten Grenzen **500** und den vom Bediener gesetzten Grenzen **502**. Wenn ein Anschlagzustand angezeigt wird, wird die gestrichelte Linie neben der graphischen Form in der Richtung gezeichnet, in der sich die Variable nicht bewegen kann. Dieser Zustand zeigt an, daß obwohl die Prozeßvariable scheinbar Bewegungsspielraum hat, dies nicht der Fall ist, weil sie am Anschlag ist (z. B. hat die signalabwärtsbefindliche Steuereinrichtung eine physikalische Grenze erreicht, obwohl die gesteuerte Variable innerhalb akzeptabler Grenzen liegt).

[0129] Die zusammenfassenden graphischen Einrichtungen **452h**, **452i** und **452j** enthalten jeweils nicht nur Zustände, die den aktuellen Wert der Prozeßvariablen relativ zu einer oder mehreren Mengen von benutzerdefinierten Grenzen repräsentieren, sondern enthalten außerdem ein graphisches Symbol, das Optimierungsinformationen für die bestimmte Prozeßvariable repräsentiert. Die zusammenfassende graphische Einrichtung **452h** enthält technische harte Grenzen **500**, vom Bediener gesetzte Grenzen **502** und einen Zeiger oder Pfeil **510** in Richtung der Obergrenzen, der eine Prozeßvariable anzeigt, die maximiert werden soll, oder anders ausge-

drückt, eine Prozeßvariable, die einen negativen Linearkoeffizienten aufweist.

[0130] Die zusammenfassende graphische Einrichtung **452i** ist der zusammenfassenden graphischen Einrichtung **452h** sehr ähnlich, mit der Ausnahme, daß die Prozeßvariable minimiert werden soll, wie durch das graphische Symbol eines Pfeils oder die Zeigeeinrichtung **512** in Richtung der technischen harten Untergrenze angezeigt wird, oder anders ausgedrückt, repräsentativ für eine Prozeßvariable mit einem positiven Linearkoeffizienten.

[0131] Die zusammenfassende graphische Einrichtung **452j** enthält eine graphische Form **504** und weiterhin mit einem graphischen Symbol **514**, z.B. in diesem Fall einem Fadenkreuz, das anzeigt, daß diese bestimmte Prozeßvariable einen von Null verschiedenen quadratischen Koeffizienten aufweist, wodurch angezeigt wird, daß der Optimierer einen Ruhewert für die Prozeßvariable sucht. Die graphische Form **504** ist an einer Position auf der Achse **501** gezeigt, die den aktuellen Wert der Prozeßvariablen repräsentiert, der die graphische Einrichtung entspricht, z.B. befindet sich bei dieser Darstellung der aktuelle Wert in der Mitte der technischen harten Grenzen **500** und der vom Bediener gesetzten Grenzen **502**.

[0132] Die Endpunkte der Achse **501** für jede der graphischen Einrichtungen **452** sind fixiert und geben einen von zwei Skalenbereichen wieder. Wenn technische harte Grenzwerte spezifiziert sind, wird der Skalenbereich auf den Bereich dieser Werte normiert. Wenn die technischen harten Grenzwerte nicht verfügbar sind, wird der Skalenbereich so gesetzt, daß die vom Bediener gesetzte Ober- bzw. Untergrenze $\pm 20\%$ wiedergegeben wird. In jedem Fall kennzeichnen vorzugsweise Grenzlinien, die orthogonal zu der Achse gezeichnet werden, die vom Bediener gesetzten Grenzwerte. Im allgemeinen werden technische harte Grenzen als dunkle graue orthogonale Linien gezeichnet, die Endlinien überlagert werden, die sich über mehrere graphische Einrichtungen hinweg erstrecken können, wie durch die Linien **540** und **541** gezeigt. Vorzugsweise sind die vom Bediener gesetzte Grenzen repräsentierenden Linien kürzer als die die technischen harten Grenzen repräsentierenden Linien.

[0133] Für Fachleute ist erkennbar, daß jegliche graphische Form im Gegensatz zu einem kleinen hohlen Kreis **504**, der in diesem veranschaulichenden Beispiel präsentiert wird, zum Zeigen des aktuellen Werts der Prozeßvariablen im Kontext der im Kontext der benutzerdefinierten Grenzen definierten normierten Bereiche verwendet werden kann. Ferner kann man Farbcodierung in Verbindung mit der graphischen Form verwenden, genau wie sie bei den vorherigen Ausführungsbeispielen verwendet wurde.

Zum Beispiel kann man mit einer Farbe (z.B. grau) einer Farbpalette zeigen, daß der aktuelle Wert der Prozeßvariablen zwischen vom Bediener gesetzten Grenzen liegt (siehe die zusammenfassende graphische Einrichtung **452a**), eine andere Farbe (z.B. gelb) kann für die graphische Form verwendet werden, wenn der aktuelle Wert für die Prozeßvariable in der Nähe der vom Bediener gesetzten Grenzen liegt (siehe die zusammenfassende graphische Einrichtung **452d**), und eine weitere Farbe (z.B. rot) kann verwendet werden, wenn der aktuelle Wert der Prozeßvariablen die vom Bediener gesetzten Grenzen übersteigt (siehe die zusammenfassende graphische Einrichtung **452e**).

[0134] Die Verwendung der zusammenfassenden graphischen Einrichtungen **452** gewährleistet eine Überwachung des Verhaltens einer Prozeßvariablen im Kontext ihrer Steuergrenzen und sogar ihrer Optimierungsziele. Ein Benutzer erreicht dies durch Wahrnehmen der Position der graphischen Form, z.B. Bubble, in bezug auf ihre Grenzen, z.B. die technischen harten Grenzen oder vom Bediener gesetzten Grenzen. Zusätzlich kann der Benutzer die Beziehung zwischen den beiden Mengen von Grenzen wahrnehmen, indem er den Raum zwischen den jeweiligen oberen und unteren Werten betrachtet. Ferner kann der Benutzer die Optimierungsleistung der Variablen mit Optimierungswarteschlangen und Aktuellwertanzeige bewerten, z.B. bestimmen, ob die Variable mit ihren gegebenen Optimierungszielen wie erwartet handelt oder nicht. Wieder können Diskrepanzen zwischen erwartetem und beobachtetem Verhalten den Benutzer dazu führen, weitere Untersuchungen anzustellen.

[0135] Verschiedene andere Matrix-Arrays von Informationen in bezug auf mehrere Prozeßvariablen können angezeigt werden, wie durch das beispielhafte Diagramm von [Fig. 11](#) gezeigt. Zum Beispiel ist in [Fig. 11](#) eine Matrix-Array-Anzeige **230** von Prozeßvariablenstufen **280** für verschiedene manipulierte Variablen, gesteuerte Variablen und Störungsvariablen gezeigt, wenn ein Benutzer den Reiter „PV Detail“ aus der in [Fig. 9](#) gezeigten Reiterregion **211** auswählt. Ähnlich kann nach Auswahl eines „Trend“-Reiters der Reiterregion **211** wie in [Fig. 9](#) gezeigt eine Trendansicht mit mehreren Trendvorgeschichte-/prädiktionsplots, wie zum Beispiel den in [Fig. 6](#) gezeigten, z.B. den Plots **252**, parallel in einer Anzeigensicht angeordnet werden. Ähnlich kann bei Auswahl des „Parameter“-Reiters in der Reiterregion **211** wie in [Fig. 9](#) gezeigt eine Ansicht von Detail- und Abstimmungsbildern bereitgestellt werden.

Patentansprüche

1. Graphische Benutzeroberfläche zum Bereitstellen von Echtzeitprozeßinformationen für einen Benutzer für einen in einer Prozeßanlage durchge-

führten Mehrvariablenprozeß, wobei der Mehrvariablenprozeß unter der Kontrolle mehrerer Prozeßvariablen betreibbar ist, wobei die graphische Benutzeroberfläche folgendes umfaßt:

mehrere Trendformelemente, wobei jedes Trendformelement ein Prozeßtrendverhalten repräsentiert; und
eine Übersichtstrendanzeige zum Anzeigen eines oder mehrerer Trendformelemente, wobei jedes angezeigte Trendformelement einer der mehreren Prozeßvariablen entspricht, und wobei weiterhin das für eine entsprechende Prozeßvariable angezeigte Trendformelement das Trendformelement ist, das Geschwindigkeit und Beschleunigung von Vorgeschichte-Prozeßvariablenwerten für die entsprechende Prozeßvariable repräsentiert.

2. Graphische Benutzeroberfläche nach Anspruch 1, wobei die mehreren Trendformelemente eine Menge von Trendformelementen umfassen, wobei jedes Trendformelement eines einer vorbestimmten Prozeßtrendverhaltensmenge repräsentiert, und wobei ferner das für die entsprechende Prozeßvariable angezeigte Trendformelement das Trendformelement der vorbestimmten Menge von Trendformelementen ist, das die Vorgeschichte-Prozeßvariablenwerte für die entsprechende Prozeßvariable repräsentiert.

3. Computerimplementiertes Verfahren zum Bereitstellen einer graphischen Benutzeroberfläche zur Bereitstellung von Echtzeitprozeßinformationen für einen Benutzer für einen in einer Prozeßanlage durchgeführten Mehrvariablenprozeß, wobei der Mehrvariablenprozeß unter der Kontrolle mehrerer Prozeßvariablen betreibbar ist, mit den folgenden Schritten:

Bereitstellen mehrerer Trendformelemente, wobei jedes Trendformelement einem Prozeßtrendverhalten entspricht;

Bereitstellen von Vorgeschichtedaten für eine oder mehrere der mehreren Prozeßvariablen, darunter Vorgeschichte-Prozeßvariablenwerte;

Bestimmen eines Prozeßtrendverhaltens, das Geschwindigkeit und Beschleunigung von Vorgeschichte-Prozeßvariablenwerten für eine oder mehrere der mehreren Prozeßvariablen repräsentiert; und

Anzeigen von Trendformelementen, die dem für jede der einen oder mehreren der mehreren Prozeßvariablen bestimmten Prozeßtrendverhalten entsprechen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, weiterhin mit dem Schritt des Anzeigens eines oder mehrerer Anlagenkomponentensymbole, wobei jedes Anlagenkomponentensymbol mindestens eine Anlagenkomponente der Prozeßanlage repräsentiert und eine oder mehrere ihm zugeordnete Prozeßvariablen aufweist, und wobei weiterhin das Anzeigen von Trendformelementen, die dem für jede der einen oder mehreren der

mehreren Prozeßvariablen bestimmten Prozeßtrendverhalten entsprechen, das Anzeigen jedes der Trendformelemente in Assoziation mit einem der Anlagenkomponentensymbole umfaßt.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

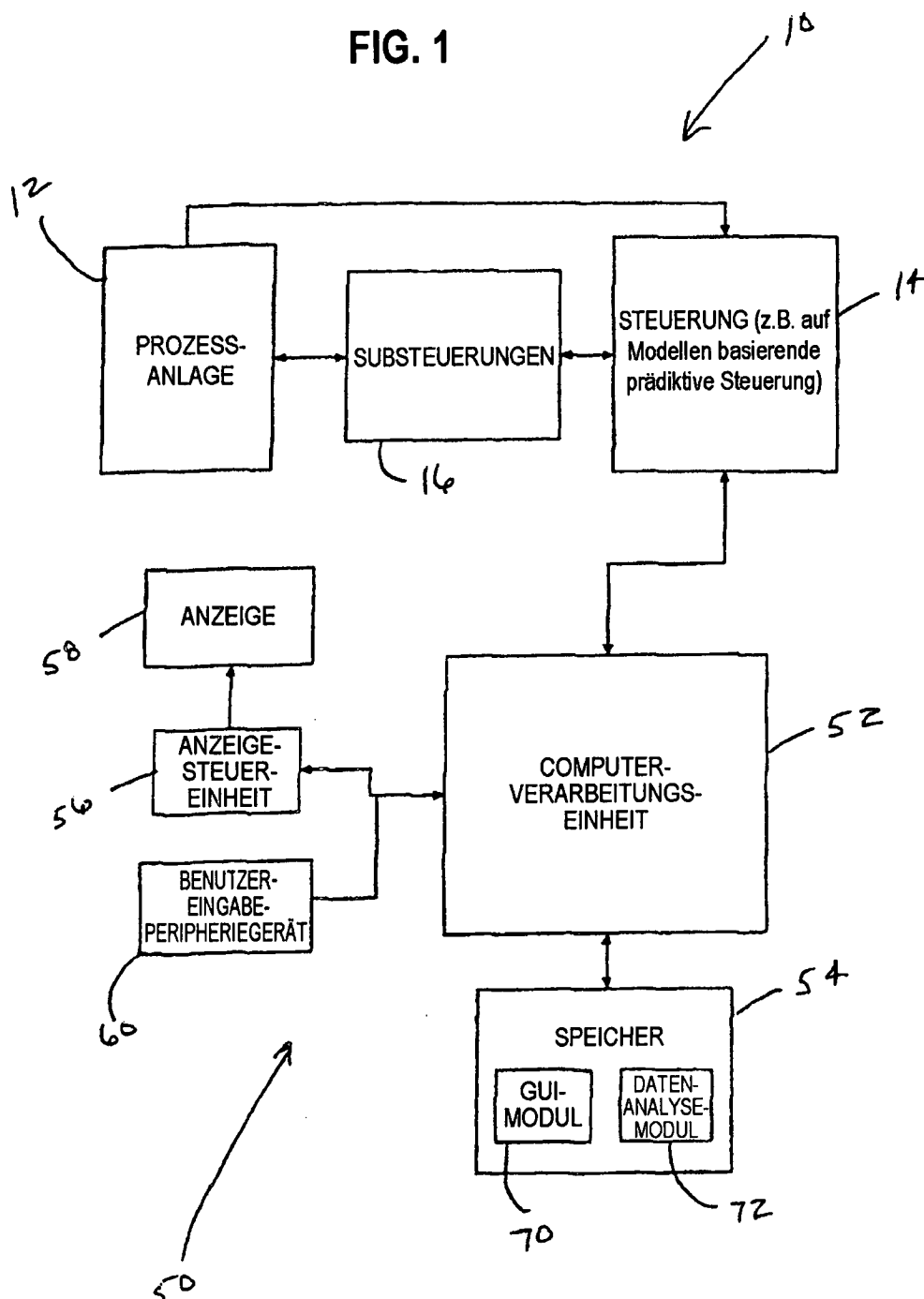


FIG. 2

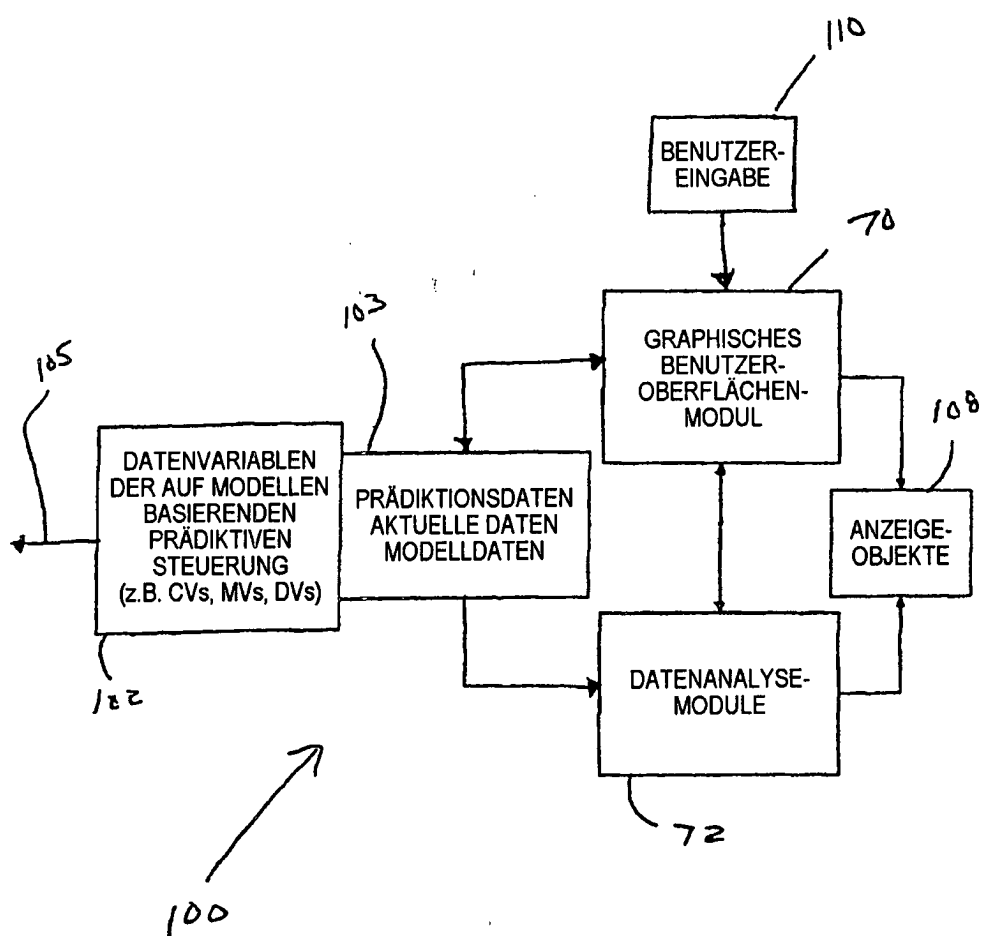
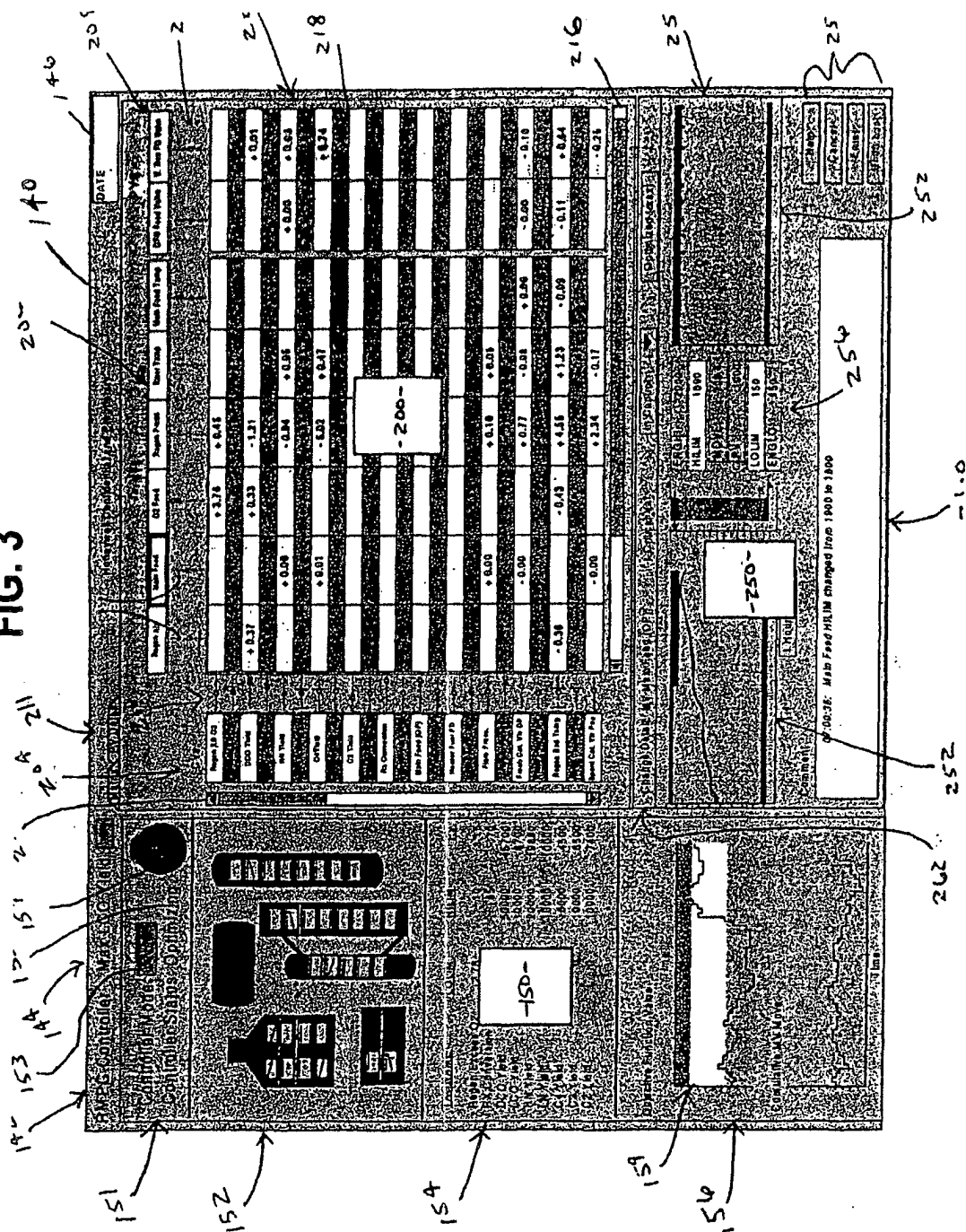


FIG. 3

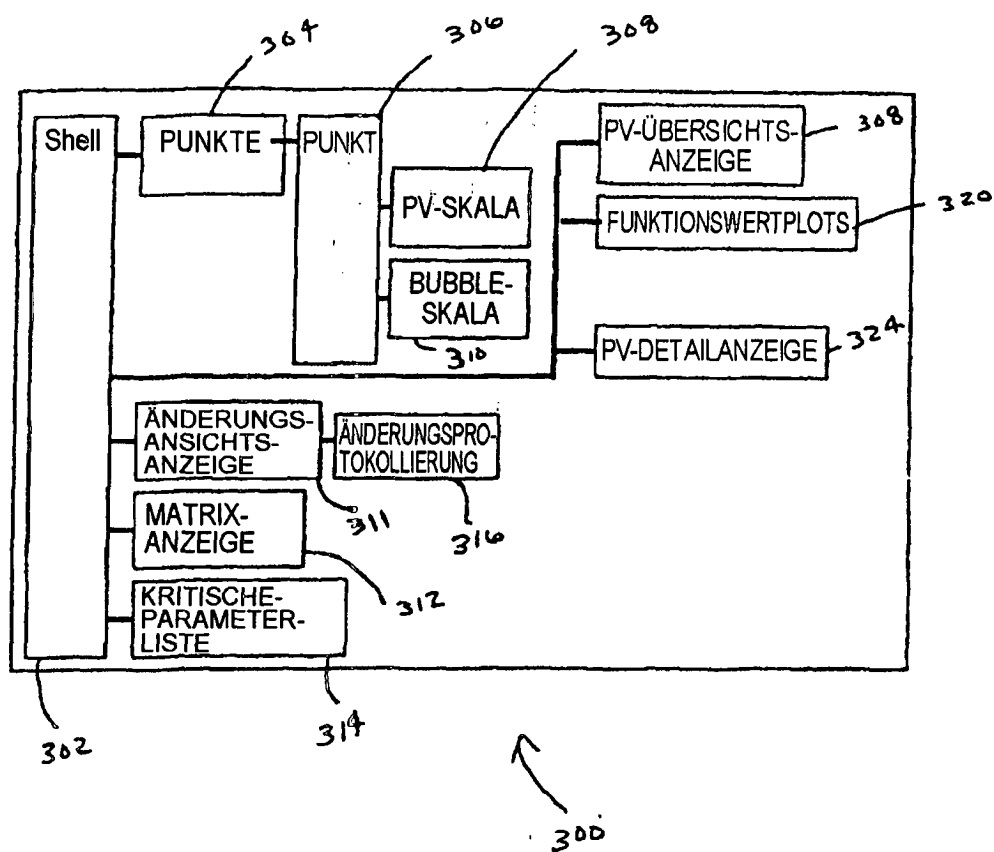


FIG. 4

FIG. 5A

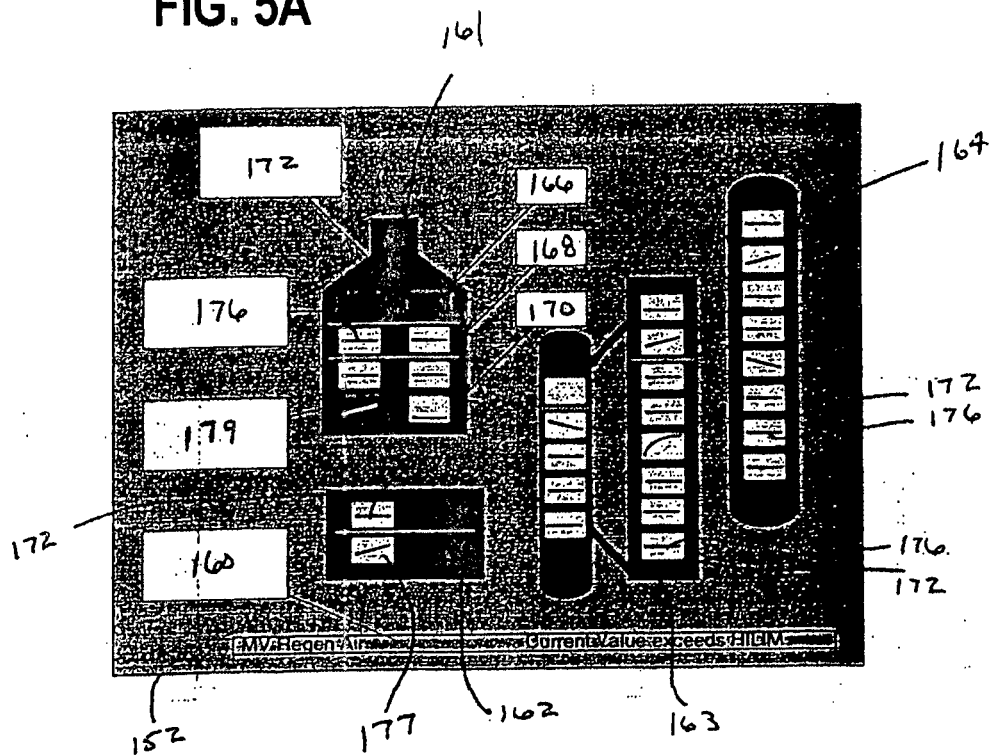


FIG. 5B

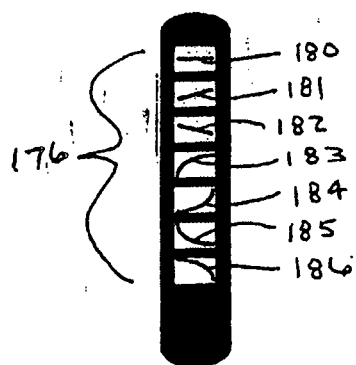


FIG. 6

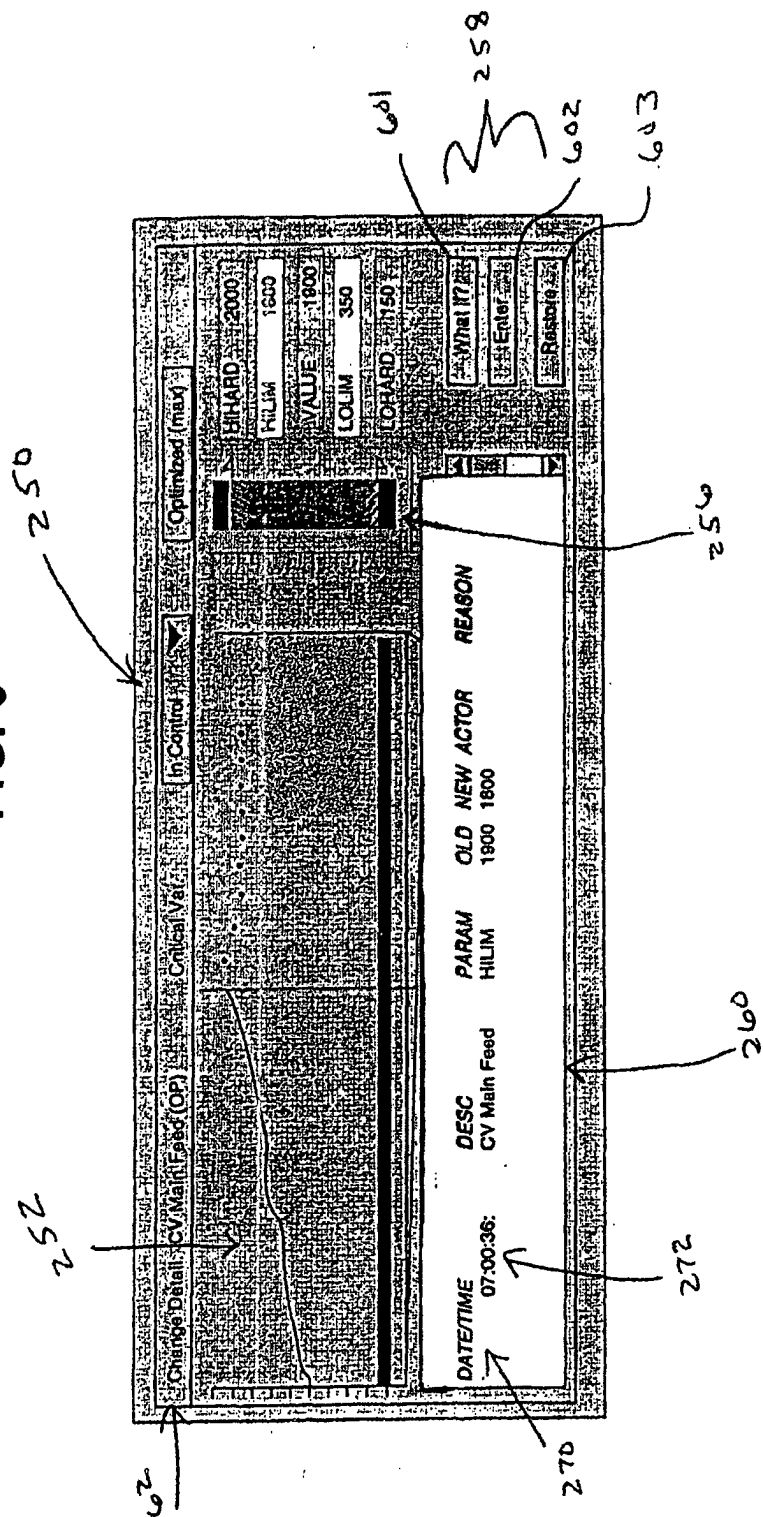


FIG. 7A

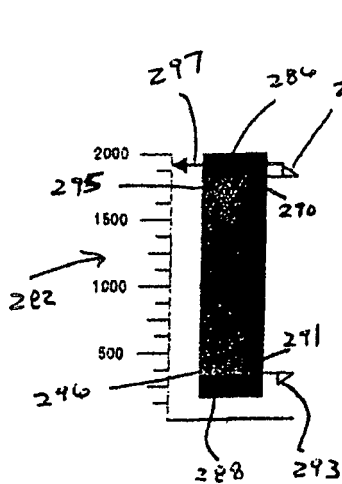
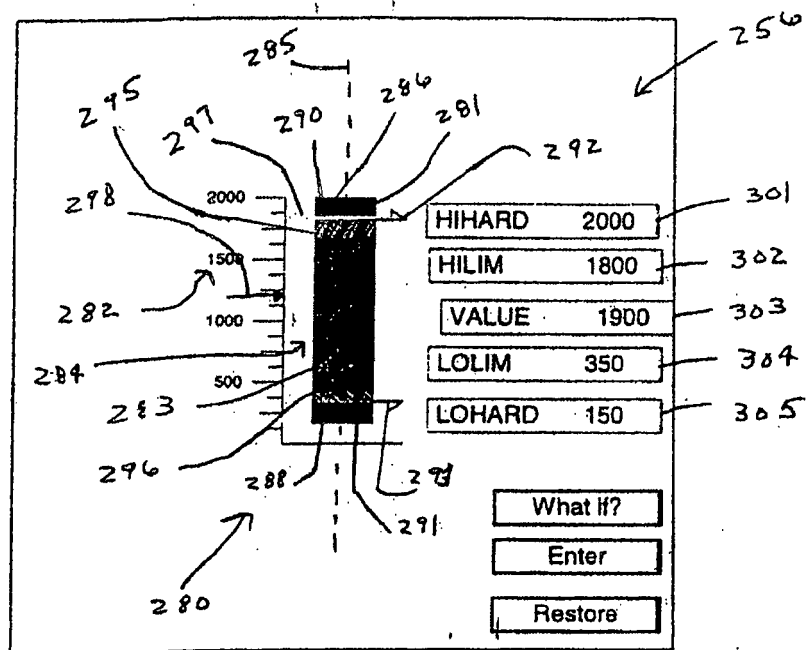


FIG. 7B

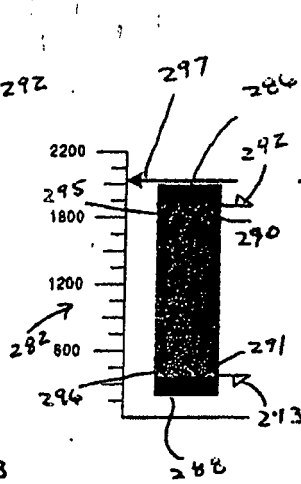


FIG. 7C

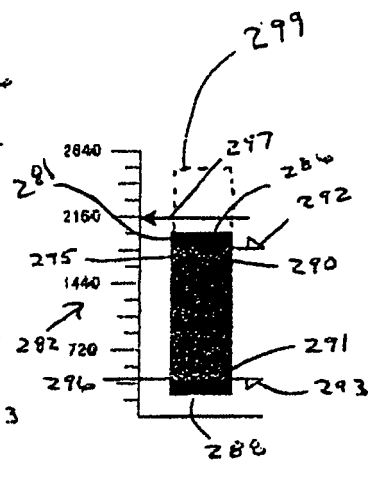


FIG. 7D

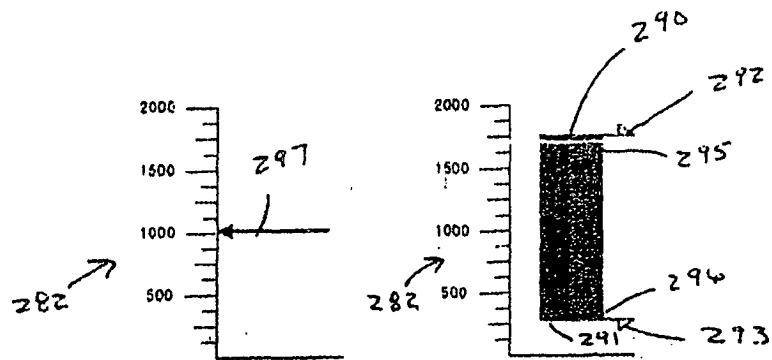


FIG. 7E

FIG. 7F

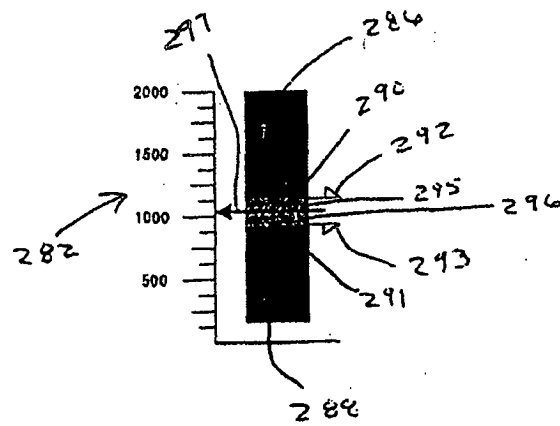


FIG. 7G

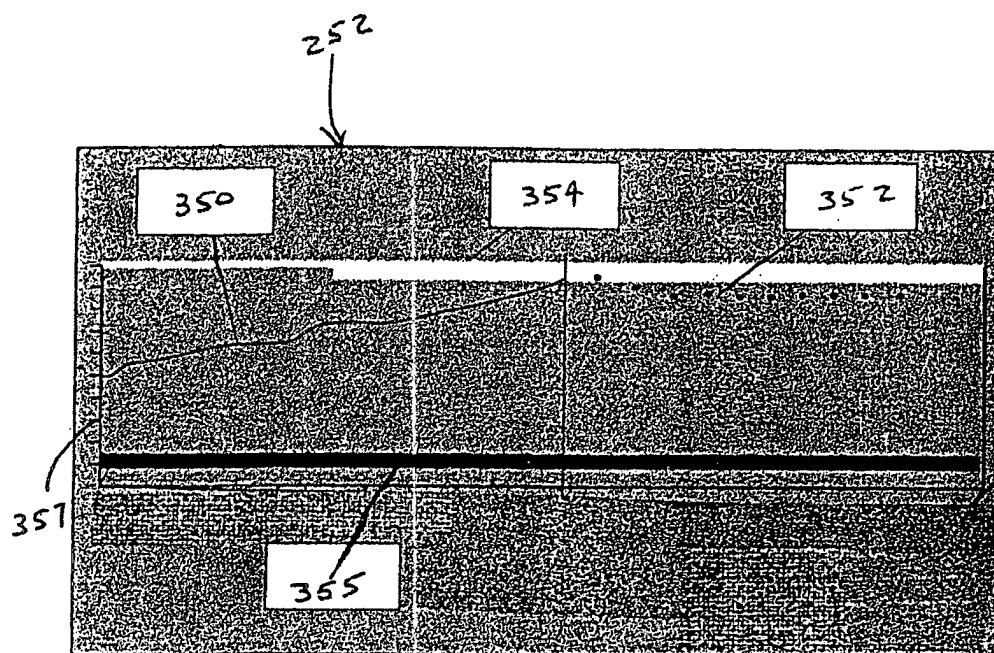
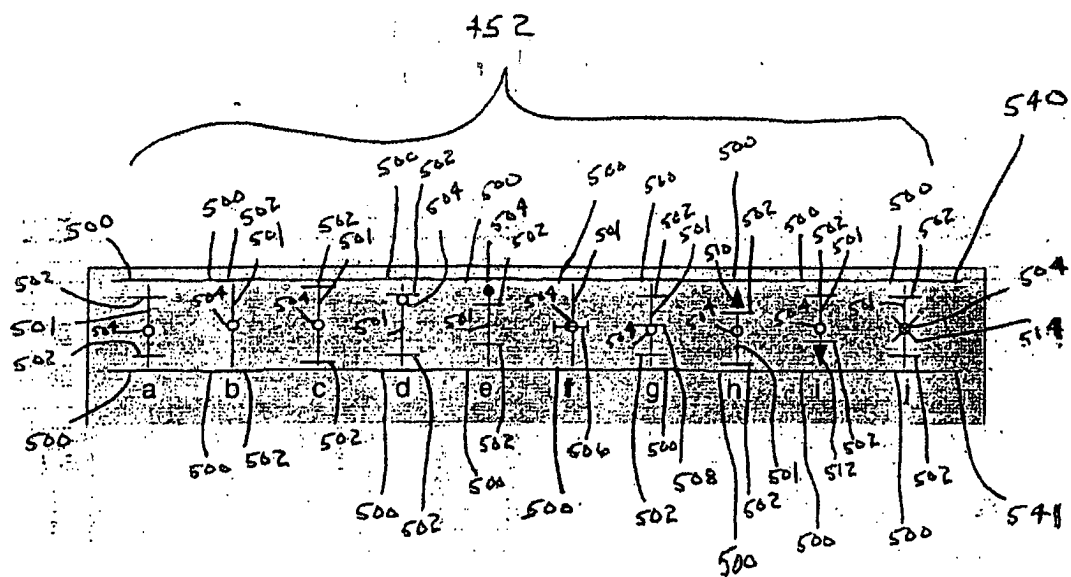


FIG. 8

FIG. 10



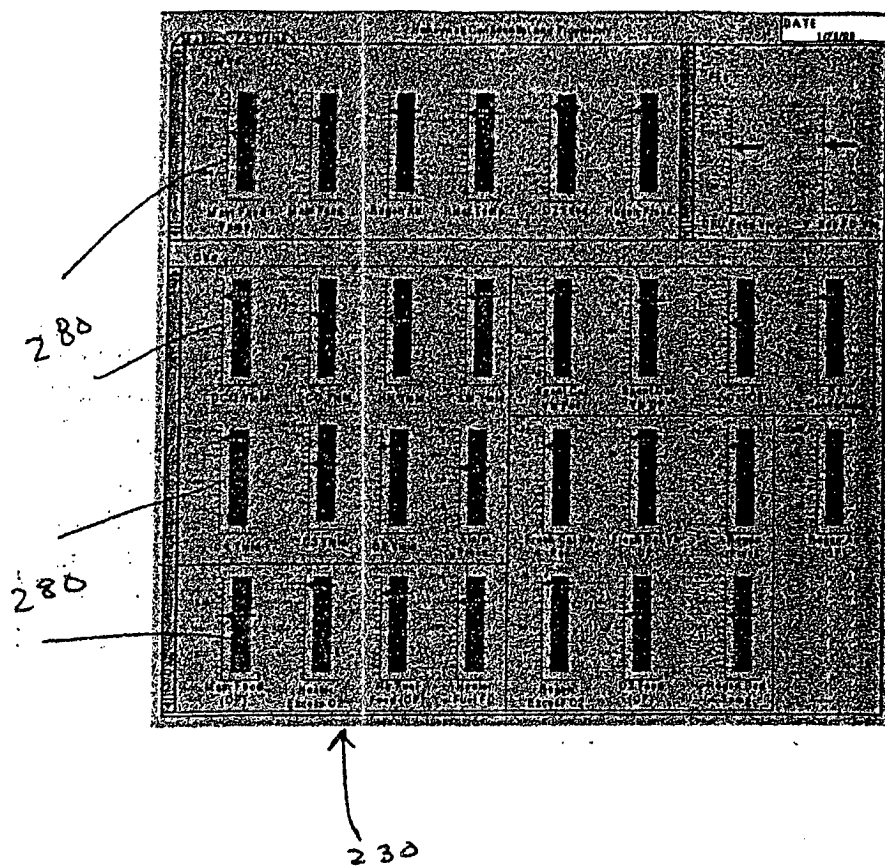


FIG. 11