



PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<p>(51) Internationale Patentklassifikation⁶ : G05B 13/02</p>	<p align="center">A1</p>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 96/28771</p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 19. September 1996 (19.09.96)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE96/00396</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 6. März 1996 (06.03.96)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 195 08 474.8 9. März 1995 (09.03.95) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHULZE HORN, Hannes [DE/DE]; Marq-En-Baroeul-Strasse 6, D-45966 Gladbeck (DE). ADAMY, Jürgen [DE/DE]; Birkenweg 1, D-91338 Igensdorf (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: CN, KR, RU, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p>	

(54) Title: INTELLIGENT COMPUTERIZED CONTROL SYSTEM

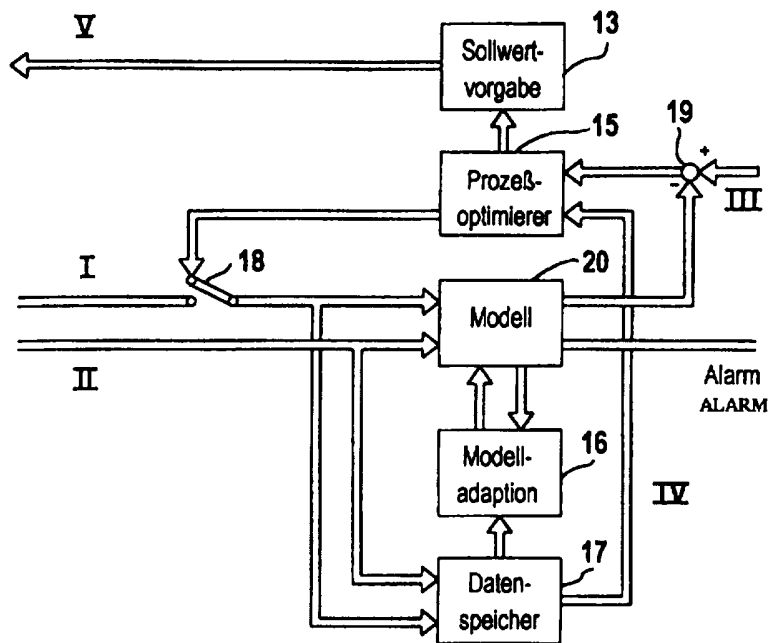
(54) Bezeichnung: INTELLIGENTES RECHNER-LEITSYSTEM

(57) Abstract

Proposed is an intelligent computerized control system for apparatus in which technical or biological processes are taking place, such as facilities for the production of goods or energy, communications facilities, etc., the control system being designed to build on previously input knowledge to determine automatically, from the results of the processes taking place in such facilities, e.g. continuous manufacturing processes, work processes, etc., the status of the processes and to give appropriate computer-generated instructions for achieving the objective of the process.

(57) Zusammenfassung

Intelligentes Rechner-Leitsystem für Einrichtungen, in denen technische oder biologische Prozesse zielgerichtet ablaufen, z.B. Produktionsanlagen für Güter oder Energie, Kommunikationseinrichtungen etc., das aufbauend auf eingegebenem Vorwissen den jeweiligen Zustand der in den Einrichtungen ablaufenden Prozesse, z.B. von kontinuierlichen Herstellungsprozessen, Arbeitsverfahren etc. anhand der Prozeßergebnisse selbsttätig erkennend und situationsgerecht zum Erreichen des Prozeßziels rechentechnisch generierte Anweisungen gebend, ausgebildet ist.



13... TARGET - VALUE DETERMINATION
 15... PROCESS OPTIMIZATION
 20... MODEL
 16... ADAPTATION OF MODEL
 17... DATA STORE

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LU	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LV	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LT	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauretanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

Beschreibung

Intelligentes Rechner-Leitsystem

5 Die Erfindung betrifft ein intelligentes Rechner-Leitsystem für Einrichtungen, in denen technische oder biologische Prozesse zielgerichtet ablaufen, z.B. Produktionsanlagen für Güter oder Energie, Kommunikationseinrichtungen etc., das aufbauend auf eingegebenem Vorwissen den jeweiligen Zustand
10 der in den Einrichtungen ablaufenden Prozesse, z.B. von kontinuierlichen Herstellungsprozessen, Arbeitsverfahren etc. anhand der Prozeßergebnisse selbsttätig erkennend und situationsgerecht zum Erreichen des Prozeßziels rechen-
technisch generierte Anweisungen gebend, ausgebildet ist.

15

Bei industriellen Einrichtungen, wie z.B. Anlagen zur Erzeugung von Gütern, Energie oder zur Kommunikation etc. besteht seit jeher das Bedürfnis nach einem Leitsystem, das eine möglichst optimale, automatische, intelligente Führung
20 des ablaufenden Prozesses sicher und kostengünstig ermöglicht. Dabei besteht auch das Bedürfnis nach einer evolutionären Selbstverbesserung des Leitsystems.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Leitsystem anzugeben, das als intelligentes System die vorstehenden Bedürfnisse in
25 einer Form befriedigt, die eine Übernahme der angewendeten Rechentechnik auf Einrichtungen der unterschiedlichsten Art ermöglicht.

30 Insbesondere durch konventionelle Regel- oder Rechentechnik nicht besonders gut beherrschbare Teilprozesse sollen dabei unter Beachtung der Rückwirkungen so optimiert werden, daß eine Prozeßführung mit Hilfe voreinstellbarer, einfacher Stellglieder oder über einfache prozesstechnische Maßnahmen
35 kostengünstig möglich ist.

Die Aufgabe wird im Grundsatz durch die im Anspruch 1 genannten Maßnahmen gelöst. Die Unteransprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen der Lösung.

5 Im Stand der Technik sind bereits Leitsystem-Lösungen bekannt, die sogenannte intelligente Komponenten verwenden. Aus der WO 93/08515 ist z.B. eine Steuer- und Regeleinrichtung für technische Prozesse bekannt, die mit wissensbasierten Steuerregeln für ausgewählte Prozeßzustände
10 arbeitet. Die Bildung von Steuer- oder Stellgrößen für die übrigen Prozeßzustände erfolgt in der Einrichtung mit Hilfe einer stetigen mathematischen Funktion, die wissensbasierte Steuerregeln verknüpft und so - ähnlich einer nichtlinearen Interpolation - Steuerregeln für alle Prozeßzustände schafft.
15 Diese bekannte Einrichtung ist nicht im Hinblick auf einen besseren Prozeßerfolg zielgerichtet selbsttätig handelnd aufgebaut. Die menschliche Operatorintelligenz ist noch unverzichtbar. Eine evolutionäre Selbstentwicklung der intelligenten Komponenten ist nicht vorgesehen.

20 Aus dem Aufsatz "Das Expertensystem MODI - ein Beitrag zur wirtschaftlichen und sicheren Führung von Kraftwerken, ABB Technik 6/7, 1994, Seiten 38-46, ist weiterhin ein Expertensystem bekannt, das den Zustand von Kraftwerksprozessen durch
25 Vergleich charakteristischer Merkmale mit einem mathematischen Referenzmodell überwacht und bei Abweichungen vom Normalverhalten deren Ursachen analysiert. Die anlagenweite Sichtweise dieses Expertensystems gestattet es, Aussagen über den Prozeß als ganzes zu machen, eine selbsttätige, sich
30 automatisch optimierende, Prozeßführung ist über das beschriebene Experten-System jedoch nicht möglich.

In dem Aufsatz "Process optimization for maximum availability in continous casting" der Zeitschrift "Metallurgical Plant
35 and Technology International 5/1994, Seiten 52-58, wird weiterhin ein Rechner-Leitsystem beschrieben, das mit Hilfe

von Modellen das Stranggießen von Stahl automatisiert und die Produktqualität überwacht. Dies geschieht mit Hilfe von graphischen Darstellungen, also über eine Mensch-Maschine-Schnittstelle. Eine intelligente automatische Prozeßführung ist bei diesem Leitsystem ebenfalls nicht vorgesehen.

In ähnlicher Weise arbeitet auch das in der EP 0 411 962 A2 beschriebene Leitsystem, das speziell für das Bandgießen von Stahl entwickelt wurde. Auch hier sind Anlagentestläufe die Grundlage für Expertenwissen, das in Form von Grenzkurven verwendet wird. Eine fortlaufende oder schrittweise, selbständige rechentechnische Optimierung findet nicht statt.

Die vorstehend genannten, mit intelligenten Komponenten arbeitenden Systeme, erreichen die Qualität der erfindungsgemäßen Lösung nicht. Ein Weg zur Befriedigung der einleitend genannten Bedürfnisse ist noch nicht einmal angedeutet.

Wichtig für ein allgemein akzeptiertes Prozeß- und Anlagen-Leitsystem ist, daß es sicher arbeitet. Erfindungsgemäß weist daher das Leitsystem vorteilhaft ein, den rechentechnisch intelligenten Teil ergänzendes, Basis-Funktionssystem auf, das die Anweisungen aus dem rechentechnisch gewonnenen Wissen in eine sichere Prozeßführung bzw. Anlagenfunktion umsetzt.

Das Basis-Funktionssystem ist vorteilhaft als ein die Anlagekomponenten je für sich oder zusammengefaßt, sicher arbeitsfähig machendes Subsystem ausgebildet, z.B. auf der Grundlage der Bedingungen für die Massenflußregelung, für Eingangsgroßen-Grenzwerte etc. Zusammen mit Sicherheitskreisen, etwa für die Antriebe in Form eines hochverfügbaren Systems, wird die, für Produktionsanlagen von Gütern oder Energie etc. notwendige, Betriebssicherheit erreicht. Auch bei einem Ausfall oder einer Fehlfunktion der intelligenten

Rechentechnik ist so eine sichere Anlagenfunktion, wenn auch auf suboptimaler Basis, gewährleistet.

Zur Überführung in einen sicheren Zustand bei Ausfall oder Fehlfunktion einzelner, intelligenter Leitsystemteile, greift das, einen sicheren Zustand der Anlage und des Prozesses garantierende Subsystem vorteilhaft auf als sicher erkannte oder berechnete Betriebswerte, Verfahrensabläufe etc. zurück, die vorteilhaft in Tabellenform gesondert gespeichert werden. Dies ist insbesondere für Anlagen wichtig, die in gefährliche Zustände geraten könnten (Explosionsgefahr, Selbstzerstörungsgefahr).

Vorteilhaft ist dabei vorgesehen, daß das Basis-Funktions-system Start- und Hochlaufroutrinen aufweist, die manuell oder automatisch eingegeben werden können sowie insbesondere, daß Betriebsroutinen vorhanden sind, in denen einzelne, sonst rechentechnisch ermittelte, Anweisungen durch konstante Vorgaben ersetzt werden. Konstante Vorgaben können u.a. konstante Materialqualitäten, konstante Durchlaufgeschwindigkeiten des Materials, konstante Kühlmittelmengen etc. sein, so daß, insbesondere in der Inbetriebsetzungsphase einer Anlage, erhebliche Teile der Modellerstellung zunächst zurückgestellt werden können. Dies ist insbesondere vorteilhaft, wenn entweder das Anlagenwissen noch nicht vollständig vorliegt, z.B. in Anlagenteilen, in denen Phasenumwandlungen des Materials stattfinden und für die aufgrund einer hohen Prozeßtemperatur (bei der Erstarrung von Stahl oder bei den Vorgängen im Inneren einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle) keine Sensorik vorhanden ist, die Auskunft über das spezielle Prozeßverhalten in diesem Anlagenteil geben kann oder wenn noch keine Trainingsdaten für ein neuronales Netz gesammelt werden konnten. Hier kann bis zum Vorliegen detaillierten Prozeßwissens ganz oder teilweise mit konstanten Vorgaben oder begrenzten Vorgabeänderungen gearbeitet werden.

In Ausführung des intelligenten Teils des Leitsystems ist vorgesehen, daß der Prozeß anhand eines Prozeßmodells nachgebildet wird. Die Nachbildung ist insbesondere modular aufgebaut und beschreibt das Verhalten zwischen den
5 Prozeßeingangsgrößen sowie den Stellgrößen und den Prozeßausgangsgrößen, d.h. den Mengen- und Qualitätskennwerten des erzeugten Produktes. Von wesentlichem Vorteil (neben der Möglichkeit der Prozeßführung entsprechend der Anpassung der Parameter o.ä. des Modells) ist bei einem
10 derartigen, den Prozeß beschreibenden, zur Erstellungs- und Optimierungsvereinfachung modulartig aufgebauten, Modell die Möglichkeit der fortlaufenden Adaption und Optimierung ohne in den Prozeß selbst eingreifen zu müssen. Dabei können vorteilhaft alle gängigen Adaptions- und Optimierungsverfahren
15 eingesetzt werden. Weiterhin ist sehr vorteilhaft, daß am Modell auch Grenzzustände berechnet werden können, die Aufschlüsse über kritisches Verhalten der Anlage geben.

Das Prozeßmodell ist vorteilhaft soweit wie möglich in
20 mathematischen Beschreibungsformen gehalten. Diese ermöglichen genau überschaubare Vorhersagen des Prozeßverhaltens. Für die Anlagenteile, für die Prozeßwissen nur in linguistisch ausdrückbarer Form vorliegt, werden vorteilhaft linguistisch formulierte Modellteile verwendet, etwa Fuzzy-
25 Systeme, Neuro-Fuzzy-Systeme, Experten-Systeme oder auch Tabellenwerke. So ist auch eine Modellierung physikalisch nicht beschreibbarer Prozessteile möglich, wobei die gedachten Abläufe relativ leicht zu verstehen und wertbar sind. Für Teilprozesse, für die kein oder kaum Wissen
30 vorliegt, ist es vorteilhaft, wenn als Modellteil ein lernfähiges neuronales Netz verwendet wird, wobei die Lernfähigkeit auch den Aufbau des neuronalen Netzes umfaßt. Da diese, in ihrer inneren Funktion unbekannt, Teile des Modells nur einen kleinen Teil des Gesamtmodells ausmachen,
35 sind diese Lücken im Anlagenwissen, die rein funktionell ausgefüllt werden, hinnehmbar. Vorteilhaft werden als neuro-

nale Netze einfache feed forward-Netze verwendet, die durch Back Propagation verbessert werden.

- Für eine Optimierung durch verbesserte Modelle bieten sich neben anderen Optimierungsstrategien insbesondere genetische Algorithmen an. Bei diesen ist die Wahrscheinlichkeit hoch, das erreichbare Optimum oder ein anderes sehr gutes, suboptimales Extremum, tatsächlich zu finden. Die Eignung der Strategie der Rechnungen mit genetischen Algorithmen o.ä. kann dabei insbesondere durch ein neuronales Netz geprüft werden, das die in Richtung eines globalen Optimums laufenden Werte ermittelt. Diese Optimierung erfolgt wegen des damit verbundenen großen Rechenaufwandes vorteilhaft off-line.
- Eine off-line Rechnung empfiehlt sich auch für die Parameteradaption des Modells mit Ausnahme der Modellteile, die Anlagenteile mit schnellen dynamischen Vorgängen beschreiben.

- Die Startwerte für einen Optimierungsvorgang werden ebenso wie bei den Adaptionsvorgängen auf der Basis von im Prozeßdatenspeicher archivierten Betriebsdaten ermittelt, dies hat den Vorteil, daß der Vorgang beschleunigt wird. Bei Optimierungsvorgängen, etwa wenn das Optimierungsergebnis unbefriedigend ist, kann es aber auch vorteilhaft sein, mit vollständig neuen Ausgangsdaten zu beginnen. So wird verhindert, daß sich der Optimierungsvorgang nur in einem Nebengebiet des globalen Optimums abspielt. Dies gilt insbesondere, wenn der Aufbau des Modells unsicher ist, hier empfiehlt es sich, mit geändertem Modell und neuen Startwerten neue Optimierungen durchzuführen. Die Optimierungen werden in einer dafür bestimmten Recheneinheit, dem Optimierer durchgeführt.

- In Ausgestaltung der Erfindung ist nun vorgesehen, daß die vom Optimierer off-line anhand des Prozeßmodells bestimmten einstellbaren Prozeßgrößen, die so ermittelt werden, daß die

vom Modell nachgebildeten Kennwerte des erzeugten Produktes möglichst gut mit den vorgegebenen wünschenswerten übereinstimmen, als Vorgabewerte an das Basis-Funktionssystem des Prozesses gegeben werden und von diesem der Prozeß entsprechend den Vorgabewerten eingestellt wird. So ergibt sich eine sichere Prozeßführung neben der gleichzeitig eine weitere Optimierung möglich ist.

In Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß das Vorwissen laufend durch am Prozeß während der Produktion intern rechentechnisch, z.B. in unterschiedlichen Betriebspunkten, gewonnenes Wissen verbessert und dieses selbst generierte Prozeßwissen in einen, insbesondere ständig aktualisierten, Datenspeicher übernommen wird. Durch diese Vorgehensweise erfolgt ständig ein vorteilhafter Ausbau des Vorwissens über die Anlage und ihr Verhalten.

Es ist dabei vorgesehen, daß die Vorgabewerte für das Basis-Funktionssystem, die bei einem Ausfall o.ä. des intelligenten Teils des Leitsystems direkt aus den Daten der Prozeßdatenbank erzeugt werden, durch einen Interpolationsvorgang gewonnen werden, insbesondere durch eine Fuzzy-Interpolation. So ergibt sich ein Betrieb des Leitsystems nahe am optimalen Betriebspunkt auch bei Ausfall oder Fehlfunktion des intelligenten Teils des Leitsystems.

Es ist weiterhin vorgesehen, daß die Vorgabewerte für das Basis-Funktionssystem und das Grundwissen laufend auch durch externe Simulationsrechnungen, Modellversuche o.ä. verbessert werden, insbesondere in Anpassung an Änderungen der verwendeten technischen Mittel in den Anlagenkomponenten oder an einen veränderten Anlagenaufbau. So ist eine Anpassung an den Fortschritt der Technik jederzeit möglich, wobei der modulare Aufbau des Leitsystems sich besonders günstig auswirkt. Die externen Simulationsrechnungen, Modellversuche etc. können dabei insbesondere dabei helfen festzustellen, ob und wie

sich Anlagenverbesserungen in einer entsprechenden Produktverbesserung niederschlagen können.

Die Grundidee des vorstehend geschilderten Leitsystems mag
5 für autonom bewegliche Dienstleistungs-Roboter o.ä.
naheliegender erscheinen. Einem Wunschdenken entsprechend
sollen diese menschliche Verhaltensweisen aufweisen. Für
stationäre industrielle Anlagen, die um ein Vielfaches kom-
plexer sind und fortlaufend ein optimales Produktionsergebnis
10 sicher erzielen müssen, lagen derartige Ideen jedoch bisher
fern. Insbesondere, da für industrielle Anlagen, in denen
komplexe Prozesse ablaufen, im Gegensatz zu Dienstleistungs-
robotern o.ä., ein intelligentes Verhalten nicht aus der
menschlichen Verhaltensweise ableitbar ist.

15

Die Erfindung wird anhand von Zeichnungen näher erläutert,
aus denen weitere, auch wesentliche, erfinderische Einzel-
heiten ebenso wie aus den Unteransprüchen entnehmbar sind.
Die Zeichnungen zeigen, stellvertretend für andere industri-
20 elle Prozesse, einen Bandgießprozeß für Stahl mit seiner
Leitsystemstruktur und dem für diesen Prozeß spezifische
Modell sowie Einzelheiten der Basisautomatisierung.

Im einzelnen zeigen:

25

- FIG 1 eine schematisierte Darstellung der Bandgießanlage
mit Meßdatenerfassung und Stellgrößenausgabe,
FIG 2 die Struktur des "intelligenten" Teils des Leitsy-
stems mit der Sollwert-Vorgabebildung,
30 FIG 3 Einzelheiten des Prozeßoptimierers,
FIG 4 Einzelheiten des Adaptionvorgangs,
FIG 5 wesentliche Bestandteile des Prozeßmodells und ihre
Grob-Verknüpfungsstruktur,
FIG 6 erfindungswesentliche Teile des Datenspeichers und
35 FIG 7 ein Komponenten-Schema der Basisautomatisierung.

In FIG 1 bezeichnet 1 die Gießwalzen einer Zweiwalzen-Gieß-
einrichtung, wobei zwischen den Gießwalzen 1 das Material,
etwa flüssiger Stahl, aus der Gießpfanne 4 über den Tundish 5
und ein Tauchrohr 6 eingegeben wird und zu einem Band 3 er-
5 starrt, das in einer, durch die Kreise 2 mit Bewegungspfeilen
symbolisierten, Walzanlage weiterverformt werden kann. Die
nachgeschaltete Walzanlage kann auch einfach durch Förder-
rollen, eine Haspel o.ä. ersetzt werden, wenn das Auswalzen
nicht unmittelbar nach dem Gießen erfolgen soll. Die Ausge-
10 staltung der Gesamtanlage wird anforderungsspezifisch vor-
genommen. Auch eine Ausbildung der, der Gießeinrichtung
nachgeschalteten, Anlage als Warm-Kalt-Walzwerk ist möglich
und bei sehr hohen Gießgeschwindigkeiten empfehlenswert, da
dann auch der Kalzwalzteil der Anlage ausreichend ausgelastet
15 sein kann.

Zwischen den Gießwalzen und den nachgeschalteten Einrichtun-
gen weist die Gießwalzeinrichtung vorzugsweise ein ebenfalls
nur symbolisch dargestelltes elektrodynamisches System 8,9
20 und ein Induktionsheizsystem 10 auf. Der elektrodynamische
Systemteil 8 dient dabei vorteilhaft der Gewichtsentlastung,
des gegossenen, hier noch sehr weichen und damit einschnü-
rungsgefährdeten, Bandes 3 und der elektrodynamische System-
teil 9 der Führung des Bandes 3, während dem Induktionsheiz-
25 system 10 die Einhaltung eines vorherbestimmten Temperatur-
profils über die Bandbreite obliegt, wenn sich z.B. eine di-
rekte Nachverformung in einer Walzanlage anschließt. Dies ist
insbesondere für rißempfindliche Stähle vorteilhaft. Die
Kontrolle des gegossenen Bandes 3 auf Risse erfolgt durch
30 eine Kamera 73, wobei vorteilhaft ausgenutzt werden kann, daß
das Rißbild im Zunder durch Risse im Grundmaterial beeinflußt
wird. Die Bildung einer Meßgröße erfolgt dabei vorteilhaft
durch ein Neuro-Fuzzy-System.

35 Da die Oberflächentemperatur der Gießwalzen zur Vermeidung
von Temperaturwechselbeanspruchungen im wesentlichen konstant

sein soll, werden diese durch ein IR-Heizsystem 7, ein Induktionsheizsystem o.ä. auch in dem, nicht mit flüssigem Stahl in Berührung stehenden Bereich, auf Arbeitstemperatur gehalten. Diese und andere Einzelkomponenten der, nur grob schematisch gezeichneten, Gießwalzeinrichtung werden z.B. über Temperaturregler, Durchflußeinsteller, Drehzahlregler etc. im Rahmen der Basisautomatisierung über eine Stellgrößenausgabe 12 direkt oder geregelt eingestellt. Die Ist-Daten der Stellglieder, der Regler etc. werden in der Meßdatenerfassung 11 für den Datenspeicher und den Modelleingang sowie in nicht gezeigter Weise für die Basisautomatisierung zusammengefaßt und aufbereitet. Durch die Datenübertragungen I, II und VI, die durch Pfeile symbolisiert sind, ist die Gießwalzeinrichtung, in der die auf den beiden Gießwalzen 1 gebildeten Erstarrungsschalen des Stahls nicht nur vereinigt, sondern auch schon walzend vormaßhaltig geformt werden, mit dem intelligenten Teil des Leitsystems verbunden.

FIG 2 zeigt die Struktur des intelligenten Teils des Leitsystems. Dieser besteht im wesentlichen aus den Teilen Prozeßoptimierer 15, Modell 20, Modelladaption 16 und Datenspeicher 17. Diese Teile des Leitsystems wirken derart zusammen, daß über die Sollwertausgabe 13 möglichst gute, situationsgerechte Anweisungen über die Datenleitung V zur Prozeßführung zur Verfügung gestellt werden. Diese Anweisungen werden dann in Sollwerte für die Basisautomatisierung umgesetzt. Im folgenden wird die Aufgabe und die Funktion der einzelnen Teile beschrieben.

Das Modell 20 bildet das statische Prozeßverhalten

$$y_i = f_i(u_1, \dots, u_n, v_1, \dots, v_m),$$

d.h. die Abhängigkeit der n Modellausgangsgrößen \bar{y}_i von den Stellgrößen u_i , mit denen der Prozeß beeinflusst werden kann, und von den nichtbeeinflussbaren Prozeßgrößen v_i , wie z.B. der Kühlwassertemperatur, nach. Die Modellausgangsgrößen sind da-

bei, wie schon erwähnt, typische Qualitätsparameter des Produktes. Die Modellbeschreibung

$$\tilde{y}_i = \tilde{f}_i(u_1, \dots, u_i, \dots, v_1, \dots, v_i, \dots)$$

erfaßt das Prozeßverhalten im allgemeinen nicht exakt, weshalb y_i und \tilde{y}_i mehr oder weniger voneinander abweichen. Übertragen werden die Stellgrößen u_i und die nichtbeeinflussbaren Stellgrößen v_i über die Datenleitungen I und II.

Die Modelladaption 16 hat die Aufgabe das Modell zu verbessern, damit das Modellverhalten möglichst gut dem Prozeßverhalten entspricht. Dies kann - zumindest für Modellteile - on-line geschehen, indem diese Modellteile auf der Basis von laufend erfaßten Prozeßdaten adaptiert oder nachgeführt werden.

15

Für andere Modellteile kann die Adaption auch off-line zu bestimmten Zeitpunkten vorgenommen werden. Dies geschieht auf der Basis einer Anzahl m von den Prozeß repräsentierenden Prozeßzuständen (u_i^k, v_i^k, y_i^k) , die im Datenspeicher 17 abgelegt sind. Der Index k beziffert den jeweiligen Prozeßzustand. Bei dieser Art der Adaption wird der Modellfehler

20

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n (y_i^k - \tilde{y}_i^k)^2 \\ &= \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \left(f_i(u_1^k, \dots, u_i^k, \dots, v_1^k, \dots, v_i^k, \dots) - \tilde{f}_i(u_1, \dots, u_i, \dots, v_1, \dots, v_i, \dots) \right)^2 \end{aligned}$$

minimiert in Abhängigkeit von den Modellparametern oder der Modellstruktur. D.h. man variiert die Modellparameter bzw. die -struktur so, daß ε möglichst klein wird.

25

Der Prozeßoptimierer hat die Aufgabe, mittels eines Optimierungsverfahrens und des Prozeßmodells Stellgrößen u_i zu finden, die zu einem möglichst guten Prozeßverhalten führen. Der Prozeßoptimierer arbeitet off-line zu bestimmten, beispielsweise manuell vorgebbaren Zeitpunkten und zwar wie folgt:

30

Zuerst werden die nichtbeeinflussbaren Stellgrößen v_i , für die die Optimierung erfolgen soll - z.B. die aktuellen - , kon-

stant gehalten und dem Modell über die Datenleitung II zugeführt. Sodann wird mittels Schalter 18 der Prozeßoptimierer mit dem Modell verbunden. Er gibt Stellwerte u_i auf das Modell. Über das Modell werden die Ausgangswerte \tilde{y}_i bestimmt.
5 Diese werden mit Sollausgangswerten $y_{Soll,i}$ verglichen, und es wird der Fehler

$$E = \sum_{i=1}^n (y_{Soll,i} - \tilde{y}_i)^2$$

bestimmt.

10

Der Fehler E soll minimiert werden. Zu diesem Zweck variiert der Prozeßoptimierer die Stellgrößen u_i solange in einer iterativen Schleife, die jeweils die Berechnung von y_i und E sowie die Neuauswahl von u_i enthält, bis der Fehler nicht
15 weiter verringert werden kann oder man diese Optimierung abbricht. Als Optimierungsverfahren können beispielsweise genetische Algorithmen, Hill-Climbing-Methoden etc. eingesetzt werden.

20

Die so erhaltenen optimalen Stellgrößen $u_{opt,i}$, die das Ergebnis obiger Minimierung sind, werden dann über die Sollwertvorgabe und die Datenleitung V als Sollwerte zum Basisfunktionssystem transferiert.

25

Der Datenspeicher hat die Hauptaufgabe repräsentative Prozeßzustände (u_i, v_i, y_i) zu archivieren. Hierbei ersetzt er alte Prozeßdaten immer wieder durch neu ermittelte, um anhand dieser Daten eine aktuelle, wenn auch punktuelle, Prozeßbeschreibung zu ermöglichen. Der Datenspeicher versorgt dann einerseits,
30 wie oben beschrieben, die Modelladaption. Andererseits liefert er auch Startwerte u_i für den Prozeßoptimierer. Die Startwerte werden hierbei z.B. so ausgewählt, daß die zu diesen Startwerten gehörenden Ausgangswerte y_i möglichst gut den Sollwerten $y_{Soll,i}$ entsprechen.

35

Die vorzugsweise off-line arbeitende Schleife: Modell 20 und Prozeßoptimierer 15, die sich etwa z.B. genetischer Algorithmen zur z.B. evolutionären, Modellverbesserung bedient, arbeitet vorzugsweise deswegen off-line, weil wegen der Komplexität eines Anlagenleitmodells mit seinen vielen möglichen Ausgestaltungen die Rechenzeit eines evolutionären Optimierungsvorgangs vergleichsweise lang wird. Auch bei guten Optimierungsstrategien, die z.B. aufgrund einer Analyse des wahrscheinlichen Modellverhaltens ausgewählt werden, sind viele Optimierungsvorgänge bis zum Erreichen einer deutlichen Modellverbesserung durchzurechnen.

Die Erstellung einer erfindungsgemäß zu verwendenden Modellstruktur und eines wesentlichen Teilmodells wird z.B. in dem Aufsatz "Automation Of A Laboratory Plant For Direct Casting Of Thin Steel Strips" von S. Bernhard, M. Enning and H. Rabe in "Control Eng. Practice", Vol.2, No.6, page 961-967, 1994, Elsevier Science Ltd. beschrieben. Aus dieser Veröffentlichung sind u.a. auch die Grundstrukturen geeigneter Basisautomatisierungssysteme und von Startroutinen zu ersehen, auf denen der Fachmann aufbauen kann.

Als Rechner für die Prozeßoptimierung und die Parameteradaption sind Workstations, z.B. von der Firma Sun, geeignet. Für große Leitsysteme werden vorteilhaft parallel arbeitende Rechner eingesetzt. Dies gilt insbesondere, wenn das Modell in Gruppen von Modell-Modulen aufteilbar ist, die teilabhängig voneinander optimiert werden können.

Im Vergleichspunkt 19, in den die Sollwerte, im gewählten Ausführungsbeispiel die Sollwerte für die Banddicke, die Profilform, die Oberflächengüte des Bandes etc. einfließen, werden laufend die Ergebnisse aus der Modellrechnung mit den Sollwertvorgaben verglichen. Die Differenz ist durch die Optimierung zum minimieren. Da die Differenz bei technischen Prozessen im allgemeinen nicht Null werden kann, muß der

Optimierungsvorgang sinnvoll begrenzt, also vorgegeben abgebrochen werden. Genauere Einzelheiten der Programmstruktur, mit der die Optimierung abgebrochen und jeweils die neue Sollwertausgabe gestartet wird, zeigt FIG 3.

5 In FIG 3 bezeichnet 58 eine, jeweils auszuwählende, Fehlerfunktion, in die die festgestellten Fehler (Sollwertabweichungen) einfließen. In 61 wird nun untersucht, ob die Fehlerfunktion die Abbruchkriterien der Optimierung erfüllt. Falls dies der Fall ist, werden weiter optimierte Steuer- und
10 Regelgrößen ausgegeben. Vor Erreichen des Abbruchkriteriums gelangen laufend Startwerte vom Datenspeicher in die Startwertvorgabe 59, aus denen in Suchschritten in 60, nicht vom Optimierer, sondern aus dem Datenspeicher, z.B. unter Zuhilfenahme einer Fuzzy-Interpolation, Steuer- und Regelparameter
15 für eine suboptionale Prozeßführung gewonnen werden. Eine Umschaltung erfolgt nach Erreichen des vorherbestimmten Gütefaktors, der dem jeweiligen Leitsystem-Wissensstand angepaßt wird. Wie bereits vorstehend gesagt, wird die Minimierung, die ja niemals absolut sein kann, bei Erreichen des
20 vorgegebenen Gütefaktors abgebrochen.

Aus dem Modell wird im übrigen vorteilhaft, wenn es an den Prozeß angeschlossen, d.h. Schalter 1 geschlossen ist, auch ein Alarmsignal generiert, welches das Erreichen kritischer
25 Betriebszustände signalisiert. Derartige Prozeduren sind bereits bekannt und finden sich in gleicher Weise auch in konventionellen Leitsystemen.

In FIG 4, die die Struktur einer Modelladaption mittels eines
30 Optimierungsalgorithmus zeigt, gelangen Daten aus der Startwertvorgabe 61 in eine Suchschritteinheit 62 und werden von dort als Modellparameter an das Modell 63 weitergegeben. Das Modell 63 bildet zusammen mit dem Datenspeicher 64 eine Parameterverbesserungsschleife, die in 65 in bekannter Weise die
35 gebildeten und gespeicherten Werte vergleicht. Die Vergleichswerte werden der Fehlerfunktion 67 zugeführt, die ihre

Werte an die Abbruchkriterieneinheit 66 weitergibt. Sind die Abbruchkriterien erfüllt, wird das Modell nicht mehr weiter verbessert und mit den vorhandenen Werten gearbeitet. Sonst wird die Optimierung mit weiteren Suchschritten und den
5 Zwischenwerten im Datenspeicher weitergeführt.

In FIG 5, die die wesentlichen Teilmodelle des Prozeßgesamtmodells des Ausführungsbeispiels zeigt, bezeichnet 46 das
Eingangsmodell, in dem die Außeneinflüsse, etwa die Einflüsse
10 aus der Qualität des eingesetzten Materials, zusammengefaßt sind. Aus der Stahl-Einsatzqualität ergibt sich z.B. der Liquiduswert, der Soliduswert, sowie weitere, das Gießverhalten kennzeichnende Größen. 47 bezeichnet das Tundishmodell, in das z.B. das Stahlvolumen des Tundish, die Tauchrohrstellung o.ä., die Stopfenstellung und die Stahl-Ausflußtemperatur eingehen. Die Eingangsmodelle 46 und 47 werden
15 im Teilmodell 56 zusammengefaßt, das den Status des zugeführten Materials wiedergibt. Derartige Teilmodelle können vorteilhaft parallel zu anderen Teilmodellen, etwa dem Gießbereichsmodell, dem Walzbereichsmodell o.ä. optimiert werden.
20

Das Eingangsmodell 48 enthält die Einflüsse, die die Erstarrung beeinflussen, z.B. die Gießwalzenkühlung, die Infrarotheizung etc., Das Eingangsmodell 49 enthält die Werte, die
25 für die Wärmebilanz notwendig sind, so die Stahl-Gießwalzen-Temperaturdifferenz, den Schmiermitteleinfluß als Funktion der Schmiermittelmenge, die Kristallbildungsgeschwindigkeit der jeweiligen Stahlsorte sowie z.B. den Walzenoberflächenzustand. Das Eingangsmodell 50 enthält z.B. die Einflüsse der
30 Gießspiegelcharakteristik, so die Gießspiegelhöhe, die Schlackenschichtdicke und den Abstrahlungskoeffizienten. Die Eingangsmodelle 48,49 und 50 sind zu einem Teilmodell 54, das den Status Gießbereich wiedergibt, zusammengefaßt. Diese Modellbereichs-Zusammenfassung ist allgemein für Produktionsbereiche vorteilhaft, da sie die Gesamt-Modelloptimierung
35 vereinfacht und verbessert. Unter sich sind die Teilmodelle

z.T. noch voneinander abhängig, so etwa in erheblichem Maß die Eingangsmodelle 49 (Eingangsmodell Wärmebilanz) und 50 (Eingangsmodell Gießspiegelcharakteristik). Sekundärabhängigkeiten sind zur Vereinfachung nicht dargestellt.

5

Das Teilmodell 51 enthält alle Einflüsse auf die Erstarrungsfront, d.h. auf den Bereich, in dem die auf den beiden Kühlwalzen erstarrten Metallschalen zusammentreffen. Im wesentlichen sind diese Einflüsse die Umformarbeit, die von den Gießwalzen geleistet wird, die Vibrationsweite der Gießwalzen oder des austretenden Bandes, die Seitenspalt-Dichteinflüsse und der Anstrengungsgrad des Gesamtsystems, dies ist z.B. ein Fuzzy-Modell. Das Teilmodell 52 gibt die Austrittswerte wieder, so z.B. die Qualität des Bandes, die Austrittstemperatur- und Verteilung, aber auch die Klebneigung und den Zustand des gebildeten Zunders. In das Teilmodell 52 geht auch das Eingangsmodell 53 und das Eingangsmodell 74 ein, die sich auf den Temperaturverlauf quer zum Band und auf den Oberflächenzustand des Bandes beziehen. Für den besonders vorteilhaften Fall, daß es sich um ein Bandgieß-Walzwerk handelt, gehen auch die Walzwerksteilmodelle 54 mit in dieses spezielle Prozeßmodell ein, da die Produktausbildung nach dem Austritt aus den Walzgerüsten das entscheidende Kriterium ist.

25

Die Teilmodelle sind zu dem Produkt-Ausbildungsmodell 57 zusammengefaßt, welches das Dickenprofil des gebildeten Bandes, die Banddicke, ein evtl. auftretendes Fehlerbild, die Kornstruktur des Bandes, die Oberflächenstruktur etc. zusammenfaßt. Die Oberflächenstruktur und insbesondere die Kornstruktur des Bandes sind nur mit erheblicher Zeitverzögerung ermittelbar. Hier arbeitet man daher vorteilhaft mit Teilmodellen auf der Basis von neuronalen Netzen zur qualitativen und quantitativen Einflußgrößenermittlung.

35

Aus der vorstehenden Darstellung ergibt sich der besondere Vorteil, der sich aus der Ausbildung des Modells in Modulform ergibt, da insbesondere so die Teile eines komplexen Gesamtprozeßmodells parallel bearbeitbar werden. Dies ist besonders vorteilhaft für den Inbetriebsetzungszeitraum einer Anlage, in dem die Eingangs- und Teilmodelle den tatsächlichen Verhältnissen angepaßt, miteinander verknüpft etc. werden müssen.

10 FIG 6 zeigt schließlich den erfindungsgemäß wesentlichen Teil der Datenspeicherstruktur. 68 bezeichnet das Prozeßdatenarchiv, 69 den Modellparameterspeicherteil, 70 den Teil mit den Startwerten für den Optimierer und 71 den Speicherteil für die sicheren Betriebspunkte. In 68 wird auch die jeweilige Modellausbildung gespeichert.

Die Basisautomatisierung, die mit ihren Regelungen, Steuerungen, Verriegelungen etc., einen unverzichtbaren Teil des Leitsystems bildet, da sie u.a. das sichere Funktionieren der Anlage auch bei einer Fehlfunktion des Modellteils des erfindungsgemäß arbeitenden Leitsystems garantiert, muß eine Vielzahl von Funktionen erfüllen.

Die einzelnen Funktionen sind, nicht abschließend, durch die einzelnen "black box" in FIG 7 symbolisiert. Dabei bedeutet 21 im Ausführungsbeispiel die Massenflußregelung über die Einzel-Drehzahlregler, 22 die Regelung der Tundish-Heizung, 23 die Gießspiegelregelung, 24 die Tundish-Ausflußregelung und 25 die Heizleistung des Infrarot- o.ä. Schirms 7 für die Aufrechterhaltung der Betriebstemperatur der Gießwalzen. 26 bedeutet die Regelung der Schmiermittelzugabe, z.B. in Form von losem Gießpulver oder von auf die Gießwalzen aufgetragener Gießpulverpaste, 27 die Kühlwassermengenregelung, 28 ggf. die Walzenoszillationsregelung, 29 die elektrische Antriebsregelung und 30 die Walzspalteinstellung. 31 bedeutet die Walzendrehzahlregelung und 32 ggf. die Regelung des

Walzendrehmoments, 33 die Einstellung des Reinigungssystems, bestehend beispielsweise aus einer Bürste und einem Schaber für die Gießwalzen und 34 die Regelung des elektrodynamischen Systems zum Ausgleich des Bandgewichtes sowie 35 die Regelung der Vibrationsweite des gegossenen Bandes. 36 bedeutet die 5 Regelung der einzelnen Teile eines elektrodynamischen Systems zur Seitenspaltabdichtung und 37 die Regelung der Heizung für die Seitenwände des Raumes zwischen den Gießwalzen. 38 bedeutet die Temperatur-Profilregelung des Induktions- 10 heizsystems 10. 39 sowie angedeutete weitere Regeleinheiten beziehen sich auf Regelungen der nachgeschalteten Verformungseinheiten, z.B. Walzgerüsten, den Zug zwischen diesen Walzgerüsten etc. Auf die vorstehenden Stellglieder, Regler etc. wirkt die Zeitsteuerung 45, die die Stellgrößenausgaben 15 etc. zeitlich koordiniert. Im Block 40 sind beispielhaft die Hilfs-Steuerungen und die Verriegelungen zusammengefaßt, so bedeuten z.B. 41 die Anfahrautomatik, 42 die Ausschalt-automatik, 43 und 44 Verriegelungen, die z.B. verhindern, daß 20 Flüssigstahl fließen kann, bevor das Gieß-Walzenpaar und die Verformungswalzen arbeitsfähig sind, etc. Darüber hinaus sind weitere, in dem Prinzipbild nicht dargestellte, Systeme für die ggf. erforderliche Bandkantenabtrennung, z.B. durch Laser, für die Zunderausbildungsbeeinflussung, z.B. durch Silikatisierung, die Walzenschmierung etc. vorhanden. In der 25 Basisautomatisierung, in die die Meßdaten I und die Sollwertvorgaben V eingehen, werden die Stellgrößen VI generiert, über die die Anlage geführt wird.

Die Charakteristik des sich selbst optimierenden und wissenschaftsmäßig weiterentwickelnden Leitsystems, am Beispiel des 30 Gießwalzprozesses gezeigt, werden im folgenden näher erläutert:

Der Gießwalzprozeß besteht aus einer Anzahl von Teilprozessen, deren Ausbildung und Einflüsse ausschlaggebend für das 35 Endprodukt sind. Erfindungsgemäß beeinflussbar und optimierbar

sind dabei die Eigenschaften des Endproduktes, z.B. seiner Dicke, seinem Dickenprofil und seiner Oberflächenausbildung, durch eine Reihe einstellbarer Prozeßgrößen, wie z.B. dem Gießwalzspalt, dem Gießwalzenprofil, der Gießspiegelhöhe etc., die wiederum die Lage der Vereinigungszone der auf den Gießwalzen abgedruckten, erstarrten Metallschalen beeinflussen. Für eine Regelung und Optimierung wird vorteilhaft erfindungsgemäß ein Gesamtprozeßmodell erstellt, welches das Prozeßverhalten beschreibt. Auf der Basis dieses Prozeßmodells können die Einflußgrößen, mit denen man den Prozeß beeinflusst, schrittweise entsprechend den Prozeßbedingungen angepaßt und optimiert werden. Die durch diese Optimierung bestimmten situationsgerechten Anweisungen führen dann zu einer Verbesserung des Prozeßgeschehens. Insgesamt ergeben sich trotz der bei der Erstellung relativ aufwendigen, (aber mit geringerem Aufwand auch bei anderen Anlagen weiterverwendbaren), Software erhebliche Kostenvorteile, da die Anlage mit wesentlich einfacheren mechanischen Komponenten, weniger Reglern etc. arbeiten kann, als die bekannten Anlagen. Auch die Sensorik wird wesentlich einfacher, da nur die Prozeßausgangsgrößen laufend genau erfaßt werden müssen.

Zusammengesetzt ist der intelligente, sich selbständig verbessernde, Teil des Leitsystems aus drei wesentlichen Elementen: Dem Prozeßmodell, der Modelladaption und dem Prozeßoptimierer. Das Prozeßmodell setzt sich aus Teilsystemen (Modulen) zusammen, die je nach Prozeßkenntnis von unterschiedlichem Typ sein werden. Bei Kenntnis der physikalischen Zusammenhänge können klassische, physikalisch-mathematische Modelle erstellt werden. Verfügt man dagegen nur über Erfahrungswissen oder Schätzungen, so werden Fuzzy- oder Neuro-Fuzzy-Systeme verwandt. Falls man nur wenig oder nichts über das Prozeßverhalten weiß, wie etwa bei der Rißbildung und der Oberflächenausbildung setzt man, zumindest am Anfang, neuronale Netze für die Prozeßbildung ein. Insgesamt beschreibt das Modell den Zusammenhang zwischen den Prozeßgrößen, wie im

gewählten Beispiel der Gießspiegelhöhe, den Zustandswerten und der Qualität des vergossenen Materials, den Einstellwerten der Gießwalzen etc. und den Qualitätsparametern des Bandes, z.B. der Dicke, dem Profil und der Oberflächenausbildung.

Da das Modell zu einem bestimmten, u.U. erheblichen, Prozentsatz auf unsicherem Wissen gründet, ist es nicht genau. Das Modell muß also anhand gewonnener Prozeßdaten adaptiert, verändert etc. werden. Dies geschieht vorteilhaft einerseits mittels der bekannten Modelladaption, die auf Daten vergangener Prozeßzustände aufsetzt. Auf Basis dieser Daten stellt sie die Modellparameter o.ä. so ein, daß das Modellverhalten möglichst gut dem des Prozesses entspricht. Außerdem werden die Modelle selbst verändernd optimiert, so z.B. durch genetische Algorithmen, eine kombinatorische Evolution etc. Entsprechende Optimierungsstrategien sind bekannt, z.B. aus Ulrich Hoffmann, Hanns Hofmann "Einführung in die Optimierung", Verlag Chemie GmbH, 1971 Weinheim / Bergstraße; H.P. Schwefel "Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie, Basel, Stuttgart : Birkhäuser 1977; Eberhard Schöneburg "Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien, Bonn, Paris, Reading, Mass, Addison-Wesley, 1994; Jochen Heistermann "Genetische Algorithmen: Theorie und Praxis evolutionärer Optimierung, Stuttgart, Leipzig, Teubner, 1994 (Teubner-Texte zur Informatik; Bd 9)

Durch das erfindungsgemäße Leitsystem mit dem vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Vorgehen wird die bisherige Aufbaustruktur eines Leitsystems verlassen. Über einer Basisautomatisierung, die im wesentlichen die Prozeßebene betrifft (Level I), befindet sich ein nur einstufiges, intelligentes Leitsystem, dem die Produktionssollwerte vorgegeben werden und das daraus selbsttätig alle Vorgabegrößen (Stellbefehle) generiert (Level II). In intelligenter Selbstoptimierung sorgt es aufgrund des bereits erreichten Prozeßergebnisses

für immer bessere Prozeßergebnisse. Einzelne Feed-Back-Regelkreise können entfallen. Nur für die Kontrolle der Prozeßergebnisse sind qualitätskontrollierende Sensoren notwendig. Das erfindungsgemäße Leitsystem besitzt also nur
5 noch zwei wesentliche Ebenen, von denen die intelligente Ebene außer etwa zur Programmierung keiner Visualisierung bedarf. Zur Kontrolle können aber die Elemente der Basisautomatisierung in bekannter Weise visualisiert werden.

Patentansprüche

1. Intelligentes Rechner-Leitsystem für Einrichtungen, in denen technische oder biologische Prozesse zielgerichtet
5 ablaufen, z.B. Produktionsanlagen für Güter oder Energie, Kommunikationseinrichtungen etc., das aufbauend auf eingegebenem Vorwissen den jeweiligen Zustand der in den Einrichtungen ablaufenden Prozesse, z.B. von kontinuierlichen
10 Herstellungsprozessen, Arbeitsverfahren etc. anhand der Prozeßergebnisse selbsttätig erkennend und situationsgerecht zum Erreichen des Prozeßziels rechentechnisch generierte Anweisungen gebend, ausgebildet ist.

2. Leitsystem nach Anspruch 1,
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Vorwissen in technologiebezogener Form, vorzugsweise in technologisch oder ggf. biologisch basierten Algorithmen, eingegeben wird.

20 3. Leitsystem nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Vorwissen das situationsbedingte Verhalten und Wirken der Komponenten der Einrichtung während des Prozeßablaufs einbezieht.

25 4. Leitsystem nach Anspruch 1,2 oder 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die situationsgerechten Anweisungen rechentechnisch aus einer Prozeßnachbildung (Modell) in einem Rechner gewonnen
30 werden, das insbesondere die Wirkung von Änderungen von Prozeßvariablen auf das Prozeßergebnis beschreibt.

5. Leitsystem nach Anspruch 1,2,3 oder 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
35 daß der Prozeßnachbildung (Modell) die Prozeßeingangsbedingungen aufgegeben und daraus situations-

gerecht Anweisungen zum Erreichen des Prozeßziels generiert werden.

6. Leitsystem nach Anspruch 1,2,3,4 oder 5

5 dadurch gekennzeichnet,
daß es die situationsgerechten Anweisungen anhand einer
Adaption des Modells erzeugend, dabei vorzugsweise
selbsttätig in vorgegebenen Routinen arbeitend, ausgebildet
ist.

10

7. Leitsystem nach Anspruch 6,

dadurch gekennzeichnet,
daß es laufend eine Optimierung, insbesondere eine
schrittweise Optimierung, des Modells, vorzugsweise eines
15 algorithmischen Prozeßmodells, durchführt.

8. Leitsystem nach Anspruch 7,

dadurch gekennzeichnet,
daß die Optimierung durch ausgewählte Trial- und Error-Routi-
20 nen am Prozeßmodell unter ständiger Erfolgskontrolle erfolgt.

9. Leitsystem nach Anspruch 1,2,3,4,5,6,7 oder 8,

dadurch gekennzeichnet,
daß das Vorwissen, vorzugsweise selbsttätig, laufend durch am
25 Modell, z.B. bei unterschiedlichen Anforderungen an den
Prozeß, intern rechentechnisch gewonnenes Wissen verbessert
und dieses selbstgenerierte Prozeßwissen als Vorwissen in
einen, insbesondere ständig aktualisierten, Datenspeicher
übernommen wird.

30

10. Leitsystem für die Führung technischer Einrichtungen und
darin ablaufender Prozesse, mit insbesondere zur Abarbeitung
von Algorithmen und zur Durchführung von Adaptierungs- und
Optimierungsvorgängen geeigneten Recheneinrichtungen, vor-

35 zugsweise nach Anspruch 1,2,3,4,5,6,7,8 oder 9,

dadurch gekennzeichnet,

daß der Zustand von in technischen Einrichtungen ablaufenden
Prozessen und/oder einzelner Teilprozesse zur Adaptierung und
ggf. Optimierung fortlaufend anhand von Prozeßmodellen
simuliert wird, die insbesondere modular aufgebaut sind und
5 die das Verhalten zwischen den Prozeßeingangsgrößen sowie
variablen Größen und den Prozeßausgangsgrößen, z.B.
Qualitätskennwerten, beschreiben.

11. Leitsystem nach Anspruch 10,
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Prozeßmodelle zumindest teilweise, soweit sie auf
Basis mathematisch-physikalischer, chemischer, metallurgi-
scher, biologischer o.ä. Gesetzmäßigkeiten modelliert werden
können, mathematische Beschreibungsformen aufweisen.

15 12. Leitsystem nach Anspruch 10 oder 11,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Prozeßmodelle für die Anlagenkomponenten, für die
Prozeßwissen vorliegt, das linguistisch ausgedrückt werden
20 kann, linguistisch formulierte Modellteile aufweisen, die
z.B. durch Fuzzy-Systeme, Neuro-Fuzzy-Systeme, Experten-
systeme oder Tabellenwerke realisiert sein können.

13. Leitsystem nach Anspruch 10,11 oder 12,
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Prozeßmodelle für die Anlagenkomponenten, für die
keine Modellbildung auf Basis mathematisch-physikalischer,
biologischer oder metallurgischer Grundlagen oder aufgrund
von linguistisch beschreibbarem Prozeßwissen möglich ist,
30 selbstlernende oder sich selbstlernend selbststrukturierende
Systeme, z.B. neuronale Netze, aufweisen.

14. Leitsystem nach Anspruch 10,11,12 oder 13,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
35 da ß die Prozeßmodelle aufgrund von gesammelten Prozeßdaten,
die in der Prozeßdatenbank archiviert werden, dem Prozeß

fortlaufend angepaßt oder nachgeführt werden und daß dies mittels adaptiver Verfahren oder Lernverfahren, z.B. durch ein Backpropagation-Lernverfahren oder ein Auswahlverfahren für verschiedene Teilmodelle, etwa neuronale Netze,
5 geschieht.

15. Leitsystem nach Anspruch 10,11,12,13 oder 14,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Prozeßmodelle, vorzugsweise off-line, durch eine
10 Modelladaption derart adaptiert werden, daß die
Modellausgangsgrößen, die insbesondere Qualitätskennwerte des Prozeßergebnisses sind, möglichst gut mit vorgegebenen, z.B. den anzustrebenden Werten, übereinstimmen.

15 16. Leitsystem nach Anspruch 10,11,12,13,14 oder 15,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Prozeßmodelle evolutionär mit Optimierungsverfahren,
z.B. mit genetischen Algorithmen, dem Verfahren von Hooke-
Jeeves, einem Verfahren des Simulated Annealings o.ä.
20 optimiert werden, wobei die jeweils angewandten Optimierungs-
verfahren situations- und problemabhängig vorgegeben oder
ggf. durch Rechentechnik, aus einer Datei ausgewählt werden,
z.B. in Abhängigkeit von der Anzahl der zu optimierenden
Größen und/oder der Ausbildung der zu erwartenden Minima.

25
17. Leitsystem nach Anspruch 10,11,12,13,14,15 oder 16,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Startwerte für Optimierungen aus den in einem
Prozeßdatenspeicher archivierten, suboptimalen Betriebsdaten
30 ermittelt werden, ggf. durch Fuzzy-Interpolation.

18. Leitsystem für technische Einrichtungen, z.B. Produktionsanlagen für Güter oder Energie, Kommunikationseinrichtungen etc., insbesondere nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,
35
dadurch gekennzeichnet,

daß es ein Basis-Funktionssystem für die Prozeßkomponenten aufweist, das die Anweisungen aus dem rechentechnisch, z.B. aus einem Prozeßmodell, vorzugsweise einem Prozeßgesamtmodell, gewonnenen Wissen sicher in eine Prozeßführung, etwa
5 in einer Produktionsanlage oder einer Kommunikationseinrichtung etc. umsetzt.

19. Leitsystem nach Anspruch 18,
dadurch gekennzeichnet,
10 daß die einstellbaren Prozeßparameter, die vorteilhaft so ermittelt wurden, daß die vom Modell nachgebildeten Kennwerte des erzeugten Produktes möglichst gut mit den vorgegebenen Wunschwerten übereinstimmen, als Vorgabe an das Basis-Funktionssystem des Prozesses gegeben werden und von diesem der
15 Prozeß entsprechend den Vorgabewerten eingestellt wird.

20. Leitsystem nach Anspruch 18 oder 19,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Basisfunktionssystem als ein, die zur Durchführung
20 des Prozesses notwendigen Komponenten je für sich oder zusammengefaßt sicher arbeitsfähig machendes, Basis-Automatisierungssystem ausgebildet ist.

21. Leitsystem nach Anspruch 20,
25 dadurch gekennzeichnet,
daß das Basis-Automatisierungssystem als autonomes, einen sicheren Zustand des Prozesses garantierendes Subsystem (Gefahren-Zustands-Rückfallsystem) ausgebildet ist, das anstelle der rechentechnisch erzeugten Anweisungen, insbesondere
30 auf als sicher erkannte, im Datenspeicher abgelegte, Betriebswerte zurückgreifen kann.

22. Leitsystem nach Anspruch 18,19,20 oder 21,
dadurch gekennzeichnet,
35 daß das Basis-Funktionssystem Start- und Hochlauf-Routinen aufweist, die manuell oder automatisch eingegeben werden

können, sowie suboptimale Normalbetriebsroutinen, in denen einzelne, sonst rechentechnisch ermittelte, Anweisungen durch konstante Vorgaben ersetzt werden können.

5 23. Leitsystem nach Anspruch 18,19,20,21 oder 22,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Basis-Funktionssystem eine Zeitsteuerung o.ä.
enthält, mit denen die Übergabe von vorermittelten
Einstellwerten (Vorgabewerten) situationsgerecht, z.B. der
10 Mengenflußkonstanz entsprechend, erfolgt.

24. Leitsystem nach Anspruch 18,19,20,21,22 oder 23,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Vorgabewerte für das Basis-Funktionssystem bei einem
15 Ausbleiben der rechentechnisch gewonnenen Werte direkt aus
den Daten der Prozeßdatenbank erzeugt werden können, wobei
zur Verbesserung insbesondere zwischen den gespeicherten
sicheren Betriebsdaten interpoliert wird, ggf. mit einer
Fuzzy-Interpolation.

20 25. Leitsystem nach einem oder mehreren der vorhergehenden
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
daß das Vorwissen auch durch externe Simulationsrechnungen,
Modellversuche o.ä. verbessert wird, insbesondere in
25 Anpassung oder Optimierung der verwendeten technischen
Mittel.

26. Verwendung von technischer, künstlicher Intelligenz in
einem Leitsystem für die Führung zielgerichteter technischer
30 Abläufe, insbesondere nach einem oder mehreren der
vorhergehenden Ansprüche, wobei das Leitsystem einen sich
fortlaufend selbst verbessernden intelligenten Teil mit
einem, insbesondere modularartig aufgebauten, Prozeßmodell, in
dem Vorwissen und selbstgeneriertes Wissen über das Verhalten
35 des Prozesses, z.B. in einer Produktionsanlage oder in einer
Kommunikationseinrichtung enthalten ist, und einen Basis-

Funktionsteil aufweist, der die Ergebnisse des künstlichen Intelligenzteils zum sicheren Erreichen des Prozeßziels umsetzt und bei einem vorübergehenden Ausfall oder einer Instabilität des intelligenten Teils für einen sicheren
5 Betrieb sorgt.

27. Technische, künstliche Intelligenz nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch
26, dadurch gekennzeichnet,
10 daß über einen off-line arbeitenden Optimierer, insbesondere mit Hilfe eines modulartig aufgebauten Gesamt-Prozeß-Modells, die für die Führung eines Prozesses optimalen Teilmodell-Ausbildungen, Einstellkombinationen, etc. durch Selbstlern-
routinen o.ä., ermittelt werden, während der Prozeß auf
15 suboptimaler, on-line geführter Basis läuft.

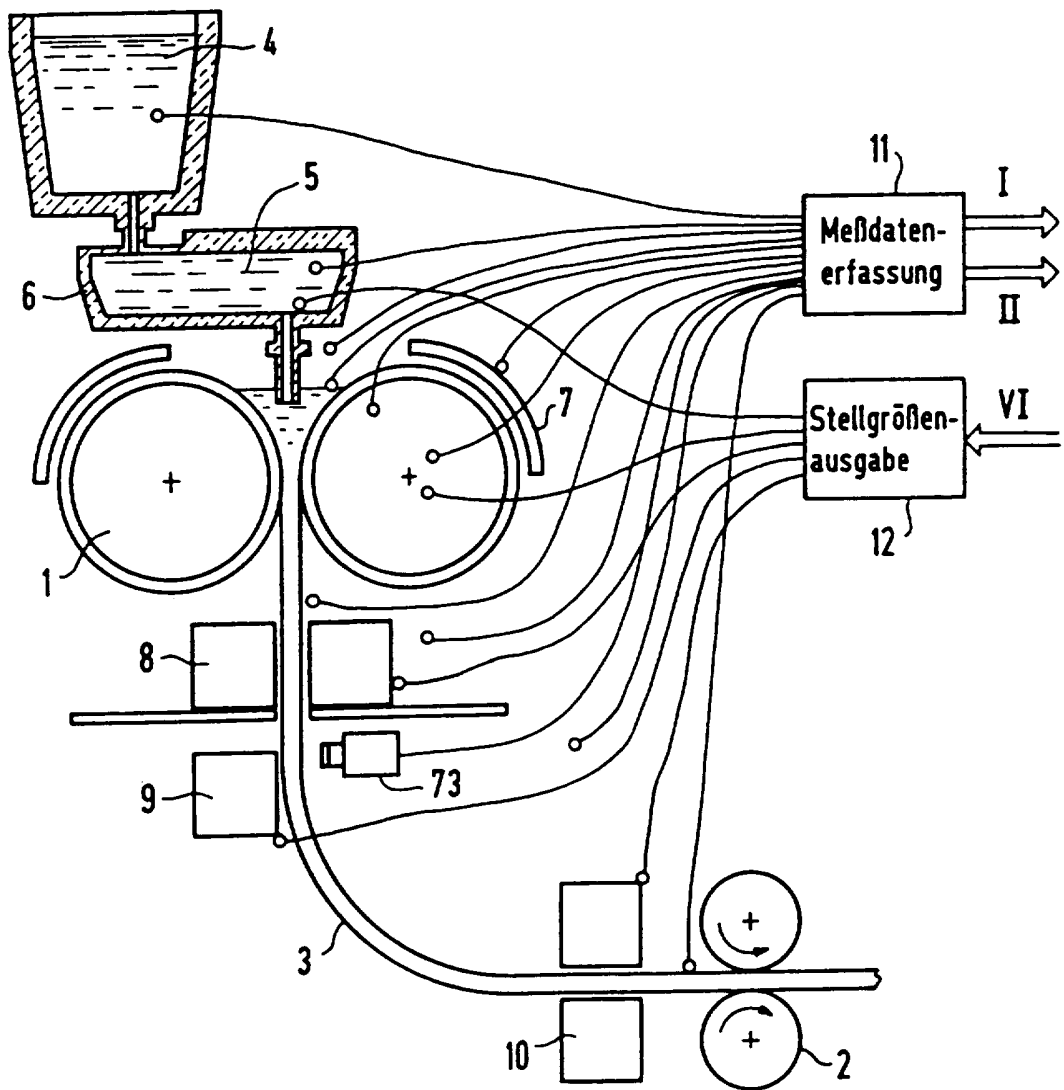


FIG 1

2/5

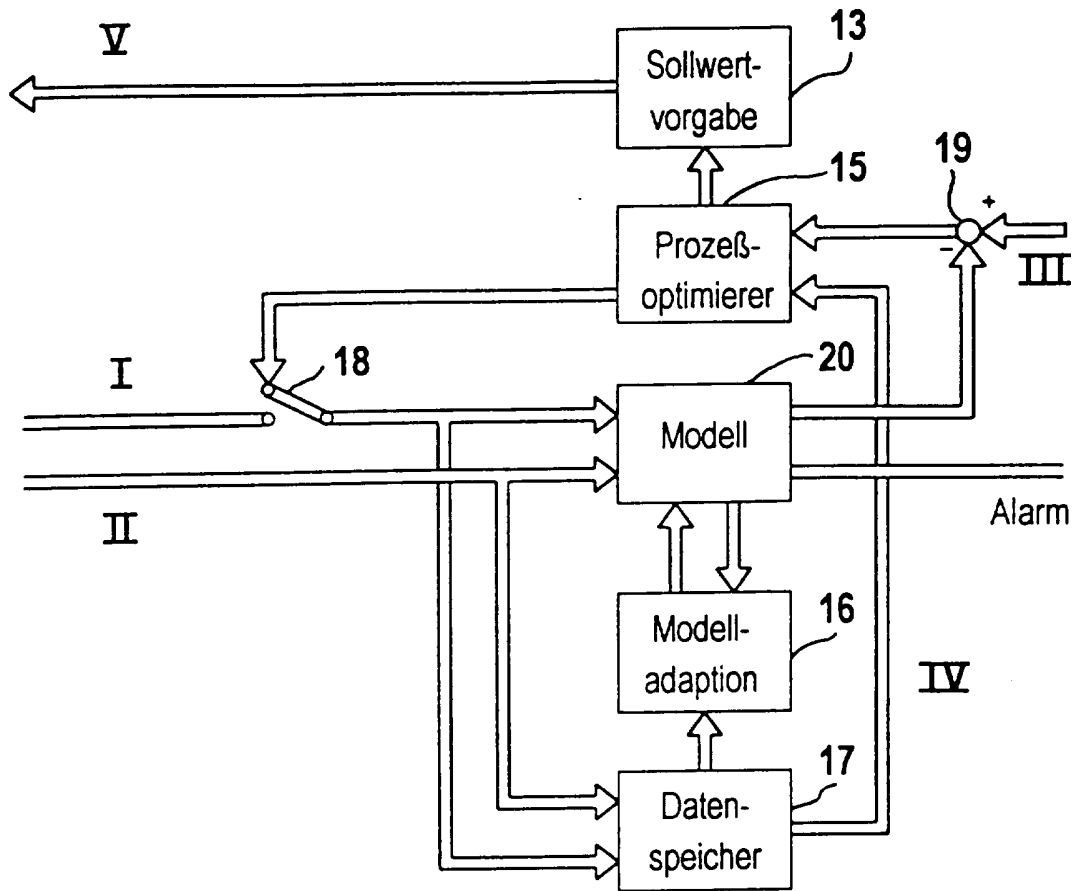


FIG 2

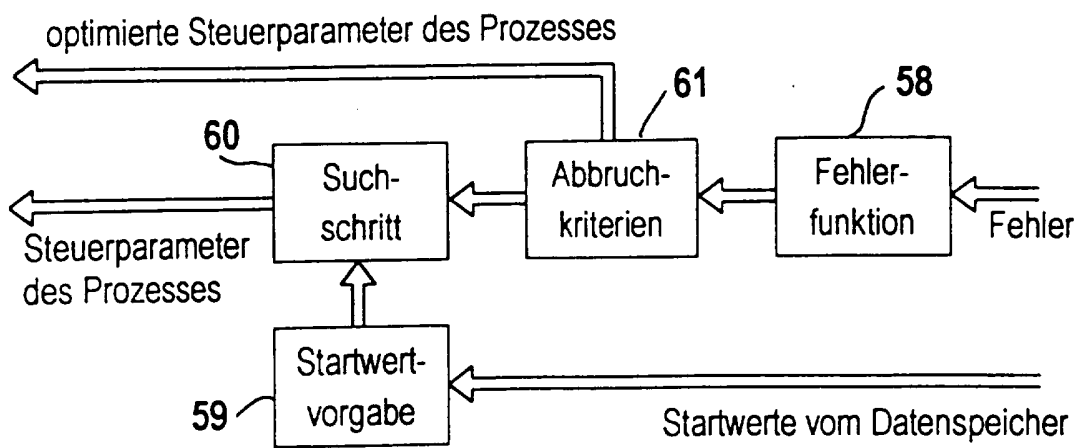


FIG 3

3/5

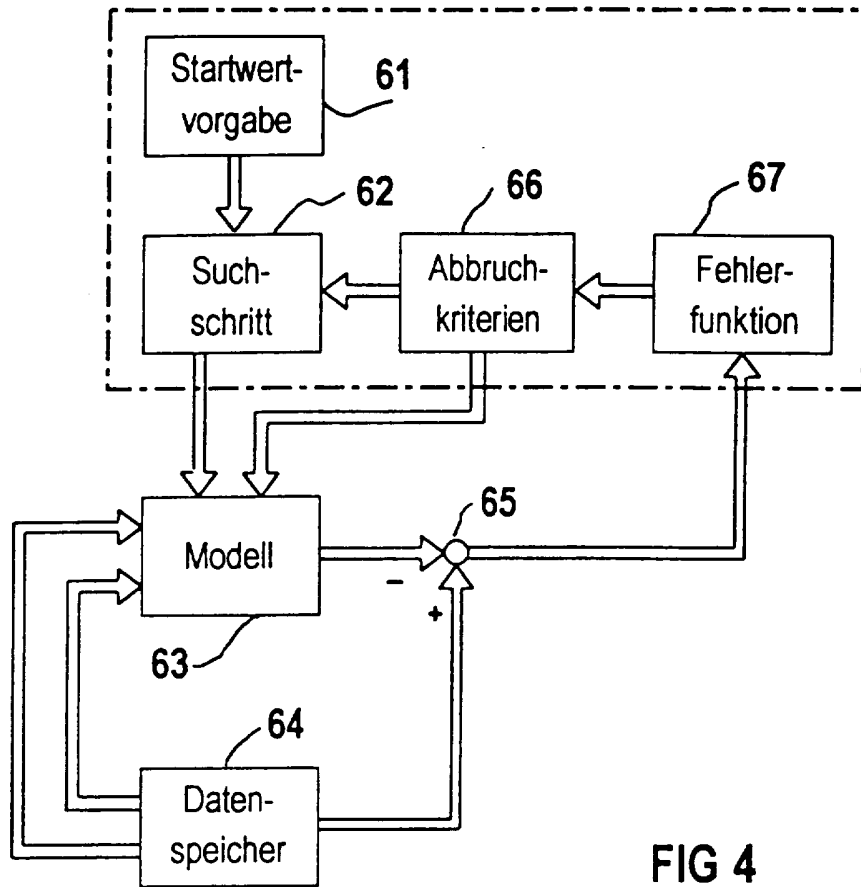


FIG 4

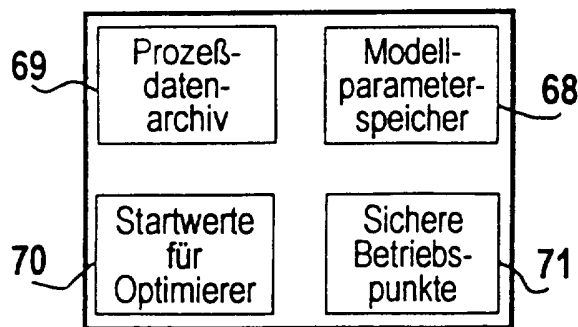


FIG 6

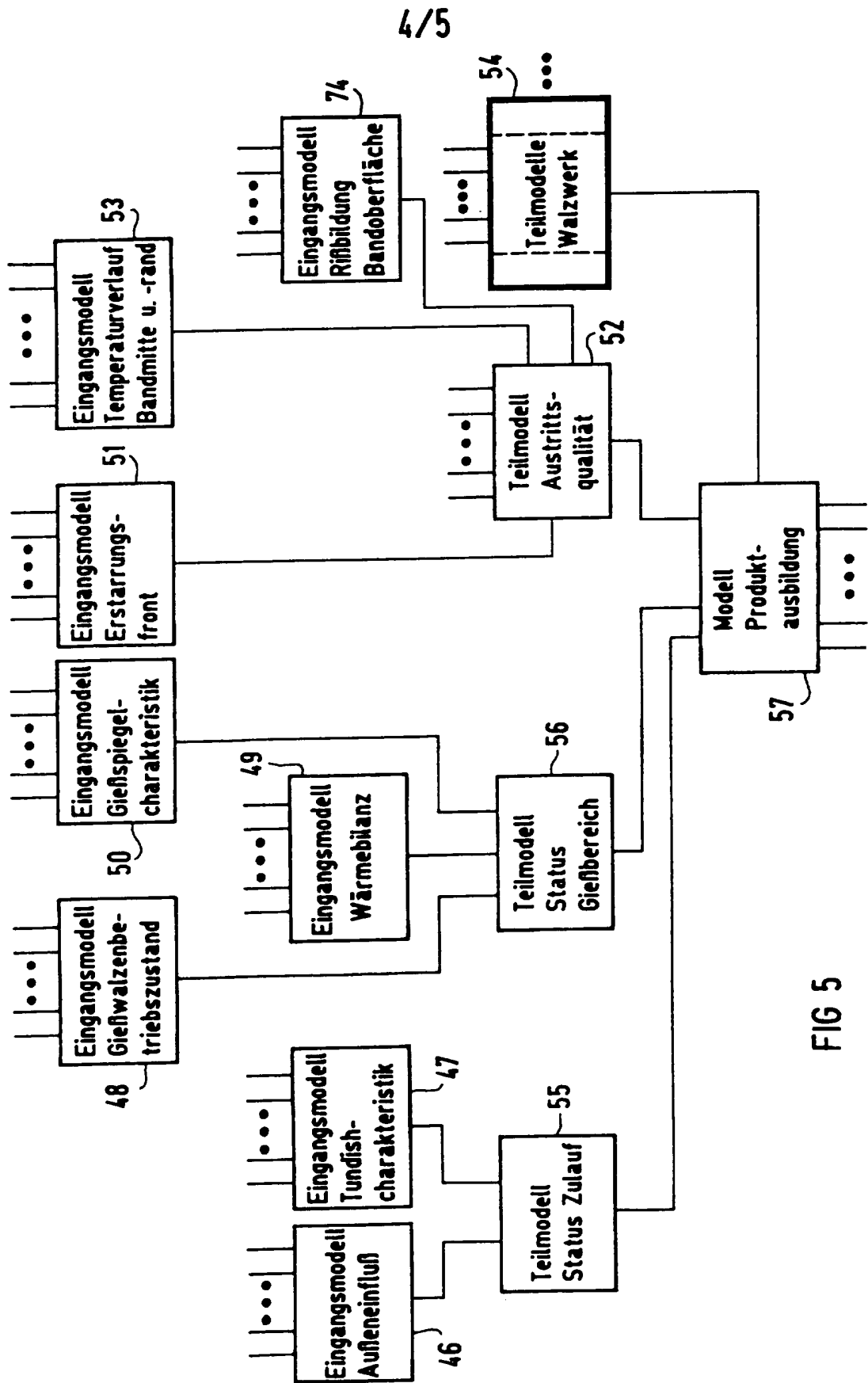


FIG 5

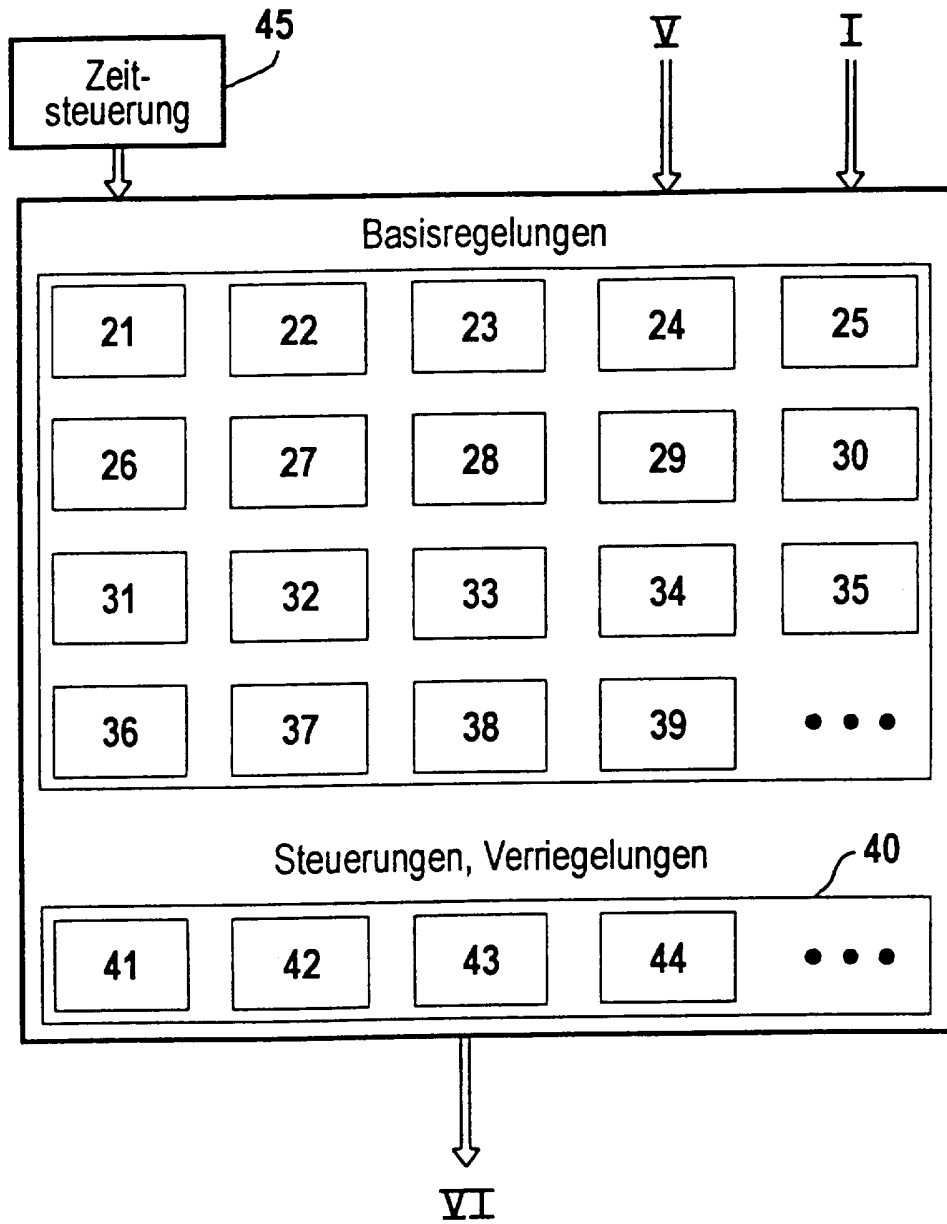


FIG 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 96/00396

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G05B13/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE,A,43 01 130 (HITACHI) 22 July 1993 see page 3, line 51 - page 6, line 41; figures 2,11	1-6, 9-11, 13-15, 18-21, 25,26
X	---	
	AUTOMATISIERUNGSTECHNIK - AT, vol. 42, no. 11, 1 November 1994, pages A37-40, XP000483092 NOWINSKI G: "LERNFAHIGE KONNEKTIONISTISCHE STRUKTUREN IN DER AUTOMATISIERUNGSTECHNIK CONNECTIONISTIC STRUCTURES WITH THE ABILITY OF LEARNING IN AUTOMATIC CONTROL" see paragraph 11.2 - paragraph 12.2; figure 39	1-7,18, 26

	-/--	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 July 1996

Date of mailing of the international search report

0 1. 08. 96

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Goetz, P

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 96/00396

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>ADVANCES IN INSTRUMENTATION, vol. 41, no. 1, 1986, RESEARCH TRIANGLE PARK US, pages 169-175, XP002007474 W.J. LEECH: "A RULE BASED PROCESS CONTROL METHOD WITH FEEDBACK" see page 170, paragraph 1 - page 171, paragraph 5; figures 1,2</p> <p style="text-align: center;">---</p>	1-3
A	<p>IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, vol. 23, no. 5, 1993, NEW YORK US, pages 1330-1339, XP000417060 A. VARSEK ET AL.: "Genetic algorithms in controller design and tuning" see page 1331, paragraph II</p> <p style="text-align: center;">---</p>	7
A	<p>WO,A,94 29773 (AMAX COAL WEST) 22 December 1994 see page 8, line 5 - page 10, line 11; figures 1-4</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-27

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 96/00396

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE-A-4301130	22-07-93	JP-A- 5197401	06-08-93
		US-A- 5414619	09-05-95

WO-A-9429773	22-12-94	US-A- 5486998	23-01-96
		AU-B- 7171894	03-01-95

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 96/00396

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G05B13/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE,A,43 01 130 (HITACHI) 22.Juli 1993 siehe Seite 3, Zeile 51 - Seite 6, Zeile 41; Abbildungen 2,11 ---	1-6, 9-11, 13-15, 18-21, 25,26
X	AUTOMATISIERUNGSTECHNIK - AT, Bd. 42, Nr. 11, 1.November 1994, Seiten A37-40, XP000483092 NOWINSKI G: "LERNFAHIGE KONNEKTIONISTISCHE STRUKTUREN IN DER AUTOMATISIERUNGSTECHNIK CONNECTIONISTIC STRUCTURES WITH THE ABILITY OF LEARNING IN AUTOMATIC CONTROL" siehe Absatz 11.2 - Absatz 12.2; Abbildung 39 ---	1-7,18, 26
	-/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. Juli 1996

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

01.08.96

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Goetz, P

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE 96/00396

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
-----------	--	--------------------

X	<p>ADVANCES IN INSTRUMENTATION, Bd. 41, Nr. 1, 1986, RESEARCH TRIANGLE PARK US, Seiten 169-175, XP002007474 W.J. LEECH: "A RULE BASED PROCESS CONTROL METHOD WITH FEEDBACK" siehe Seite 170, Absatz 1 - Seite 171, Absatz 5; Abbildungen 1,2 ---</p>	1-3
A	<p>IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, Bd. 23, Nr. 5, 1993, NEW YORK US, Seiten 1330-1339, XP000417060 A. VARSEK ET AL.: "Genetic algorithms in controller design and tuning" siehe Seite 1331, Absatz II ---</p>	7
A	<p>WO,A,94 29773 (AMAX COAL WEST) 22.Dezember 1994 siehe Seite 8, Zeile 5 - Seite 10, Zeile 11; Abbildungen 1-4 -----</p>	1-27

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 96/00396

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE-A-4301130	22-07-93	JP-A- 5197401 US-A- 5414619	06-08-93 09-05-95
WO-A-9429773	22-12-94	US-A- 5486998 AU-B- 7171894	23-01-96 03-01-95