

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
21. Februar 2002 (21.02.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/14967 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G05B 19/418** [IT/IT]; c/o Teccon s.r.l., Corso Buenos Aires, I-20124 Milano (IT). **PARAVELLA, Luciano** [—/IT]; c/o Teccon s.r.l., Corso Buenos Aires, I-20124 Milano (IT).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/09414
- (22) Internationales Anmeldedatum: 15. August 2001 (15.08.2001)
- (74) **Anwalt: KRIENEN, PFINGSTEN, TRUSKOWSKI;** Pfungsten, Dieter, Königstr. 49, 52853 Remscheid (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (81) **Bestimmungsstaat (national):** US.
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- (30) **Angaben zur Priorität:**  
100 40 731.5 17. August 2000 (17.08.2000) DE  
100 57 346.0 19. November 2000 (19.11.2000) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** **TECCON S.R.L.** [—/IT]; Engineering Consultants, Corso Buenos Aires, I-20124 Milano (IT).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** **ROSAZZA, Marco**
- Veröffentlicht:**  
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts
- Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

(54) **Title:** METHOD FOR CARRYING OUT AN AUTOMATED PRODUCTION PROCESS

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR DURCHFÜHRUNG EINES AUTOMATISIERTEN PRODUKTIONSPROZESSES

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for carrying out an automated production process, wherein the production process is controlled based on the measurement of physical or chemical parameters of the product and/or the production processes and of disturbance values (product/process parameters). An analysis is made on which parameters characterize the quality and/or the quantity of the product and/or of the production process in a sufficiently exact manner and which adjustable or non-adjustable but variable product/process parameters influence the characterizing variables (variables of influence). The evaluation of deliberate or random changes in the variables of influence serves to detect the mutual dependency of the variables of influence and this dependency is saved as a dependency model (neuronal network). The dependency model allows calculation and adjustment of the optimum characterizing values and the pertaining adjustable variables of influence. The dependency model (neuronal network) is continuously developed in an automatic manner by evaluation of the process data derived from production.

(57) **Zusammenfassung:** In einem Verfahren zur Durchführung eines automatisierten Produktionsprozesses wird der Produktionsprozess in Abhängigkeit von der Messung physikalischer oder chemischer Parameter des Produktes und/oder des Produktionsprozesses sowie Störgrößen (Produkt/Prozessparameter) gesteuert. Es wird ermittelt, welche Kenngrößen die Qualität und/oder Quantität des Produktes und/oder Produktionsprozesses hinreichend genau charakterisieren und welche einstellbaren und nicht einstellbaren, jedoch veränderlichen Produkt/Prozessparameter einen Einfluss auf die Kenngrößen haben (Einflussgrößen). Durch Auswerten bewusster oder zufälliger Änderungen der Einflussgrößen wird die gegenseitige Abhängigkeit zwischen den Einflussgrößen bestimmt und als Abhängigkeitsmodell (neuronaales Netz) gespeichert. Aufgrund des Abhängigkeitsmodells können die optimalen Kenngrößen und die zugehörigen einstellbaren Einflussgrößen berechnet und eingesetzt werden. Das Abhängigkeitsmodell (neuronaales Netz) wird durch Auswerten der in der Produktion anfallenden Prozessdaten laufend selbsttätig fortgeschrieben.

WO 02/14967 A2

## **Verfahren zur Durchführung eines automatisierten Produktionsprozesses**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Durchführung eines automatisierten Produktionsprozesses nach dem Oberbegriff des Anspruches 1.

In jedem industrialisierten Produktionsprozeß gibt es zwei sich immer wieder überschneidende Komponenten: Den Prozeß selbst als die Gesamtheit der mechanischen, elektronischen und nachrichtlichen Instrumente und den Menschen als das Managementsystem, das die Produktion steuert.

Die Aufgabe, eine Produktionsanlage zu steuern, kann mehr oder weniger schwierig sein, entsprechend der Komplexität des jeweiligen Prozesses und entsprechend der Anzahl von beteiligten Variablen. Die Aufgabe kann höchst kritische Aspekte annehmen, wenn es sich um besonders ausgefeilte automatisierte Systeme handelt. Diese Tatsache ist von besonderer Bedeutung. Denn die Automation der Produktionsprozesse ist eines der strategischen Ziele, die für die moderne Industrie von größter Bedeutung ist.

Praktisch alle Firmen haben diesen Versuch der Automatisierung in Angriff genommen, um sich dem Markt schnell und wettbewerbsfähig anpassen zu können, einem Markt, der hoch diversifizierte (unterschiedliche) Produkte zu niedrigen Preisen und mit immer kürzer werdenden Innovationszyklen (Neuaufgaben) erfordert.

Die Ergebnisse dieses Versuches der Automatisierung sind nicht auf allen Gebieten positiv, sie haben jedoch bestätigt, insbesondere auf den sogenannten „reifen“ Sektoren (in denen ein Endprodukt der technologischen Entwicklung jedenfalls vorläufig erreicht zu sein scheint), daß die Automatisierung einen unverzichtbaren Faktor für die Innovation darstellt, insbesondere soweit die Innovation das Produktionsverfahren betrifft.

Die Automation von Produktionsprozessen hat die bis dahin von Menschen ausgeführten Funktionen auf Roboter verlagert. Dadurch sind grundlegende

Änderungen in den traditionellen Arbeitsfunktionen und in der technologischen Struktur des Produktionsbetriebes entstanden.

Dennoch hat die Automatisierung wegen der entstehenden Komplexität ihre Grenzen. Wenn ein gewisses Maß an Komplexität der Automatisierung erreicht ist, geht die Möglichkeit der Kontrolle und die Flexibilität verloren und die Vorteile mindern sich. Das gilt auch für solche automatisierten Produktionsverfahren, in denen eine Vielzahl von physikalischen oder chemischen Parametern des Produktes oder des Produktionsprozesses sowie Störgrößen – mehr oder weniger – laufend gemessen und in einer Regelschleife zur Steuerung des Produktionsprozesses benutzt werden.

Während die Entwicklung der Automatisierung bisher dahin ging, immer komplexere und ausgefeilte Prozeßeinheiten zu schaffen, ist vernachlässigt worden, daß zwar die bisherige menschliche Funktion des Werkers (Operator) ersetzt werden kann, nicht aber die Funktion der Planung, Entwicklung, Organisation, Kontrolle und Steuerung (Management) des Produktionsprozesses. Die Anforderungen der Produktion haben zugenommen und sind immer komplexer geworden, während im Vergleich zu der gestiegenen Produktionskapazität die Betreiber immer noch dieselben Prinzipien und Entscheidungskriterien, Begriffe und Modelle verfolgen.

Die modernen Systeme der Generierung und Sichtbarmachung von Prozeßdaten mit Hilfe der neuen Technologien in der automatischen Steuerung waren in dem Produktionsmanagement zu nichts nütze, bestenfalls sind diese Daten nicht beachtet worden.

Daher entsteht das Bedürfnis, das Betriebsmanagement mit der Automation zu synchronisieren und die Methoden für das Management durch das operativ tätige Personal zu erneuern, indem dem Personal durchentwickelte Hilfsmittel zur Beherrschung der Komplexität moderner, automatisierter Produktionsverfahren bereitgestellt werden.

Es ist Aufgabe der Erfindung, das Verfahren zur Durchführung eines automatisierten Produktionsprozesses so auszugestalten, daß das Verfahren der geänderten Rolle des Menschen gerecht wird.

Dadurch soll die Erfindung den Mangel an innovativer Entwicklung beseitigen, der zwischen dem hohen Stand der Automationstechnik auf der einen Seite und dem immer noch konventionellen System der Hilfsmittel besteht, welche von den Betriebsleuten in ihren Entscheidungen zur Steuerung und Beherrschung des Produktionsprozesses angewandt werden.

Die Lösung dieser Aufgabe ergibt sich aus Anspruch 1.

Es wird hierdurch ein Hilfsmittel geschaffen, welches die Verbindung zwischen einerseits dem immer ausgefeilter werdenden Produktionsverfahren und den komplexen Prozessabläufen und andererseits dem Menschen schafft, der mit Planung, Entwicklung, Organisation, Kontrolle und Steuerung (Management) des Produktionsprozesses befaßt ist. Die Vielzahl der Produktionsparameter und ihre gegenseitige Abhängigkeit und Auswirkung wird überschaubar und derart transparent dargestellt, daß jederzeit eine Vorhersage möglich ist, welche Auswirkung ein Eingriff in den Prozess haben wird.

Als Produktionsparameter werden in dieser Anmeldung Kenngrößen und Einflußgrößen bezeichnet.

Zunächst ist ein Unterschied zu machen zwischen den Einflußgrößen, die es zu steuern bzw. zu beherrschen gilt, und den Kenngrößen, die das Ergebnis des Verfahrens, d.h. im weitesten Sinne: die Qualität des Prozesses und/oder des Produktes umschreiben.

Bei den Kenngrößen handelt es sich um physikalische oder chemische Parameter des Produktes und/ oder des Produktionsprozesses, welche die gewünschte Qualität und/oder Quantität des Produktes und/oder Produktionsprozesses hinreichend genau charakterisieren. (Produkt- oder Prozessparameter),

Bei den Produktionsparametern handelt es sich also einerseits um physikalische oder chemische Parameter des Produktes und andererseits um physikalische oder chemische Parameter des Produktionsprozesses und/oder Störgrößen des Produktes bzw. des Produktionsprozesses.

Es ist ersichtlich, daß nur veränderliche Einflußgrößen und nur Einflußgrößen, welche einen zuvor ermittelten signifikanten und vorzugsweise linear darstellbaren Einfluss auf zumindest eine der ausgewählten Kenngrößen haben, in Betracht kommen.

Zu den Einflussgrößen gehören auch die Parameter der Rohmaterialien und Hilfsstoffe. Diese Parameter müssen ebenso wie die Prozessparameter in die Betrachtung einbezogen werden. Dabei muss ermittelt werden, ob die Eigenschaften der Roh- oder Hilfsmaterialien so weit streuen, daß eine laufende Überwachung und eine Einbeziehung in den virtuellen Prozess erforderlich ist. Eine Einbeziehung der Eigenschaften und Parameter der Rohmaterialien und Hilfsmaterialien in den virtuellen Prozess kann jedoch auch dann erfolgen, wenn für die Produktplanung und - oder die Produktionsplanung - ein so breiter Spielraum vorgesehen werden soll, daß die Anpassung des realen Prozesses an das real gewünschte Produkt nur unter Änderung der Rohmaterialien oder Hilfsmaterialien möglich ist.

Es sei bereits an dieser Stelle hervorgehoben, daß im Rahmen dieser Erfindung auch der Ermittlung geeigneter Kenngrößen besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist. Maßgebend für derartige Kenngrößen - gleich ob es sich dabei um Prozesseigenschaften oder um Produkteigenschaften handelt - muss dabei immer die Wertschätzung des Produktes durch den Abnehmer des Produktes (Verbraucher, Benutzer, Weiterverarbeiter) sein.

Hierbei ist bereits eine Auswahl zu treffen, um anhand der ausgewählten Einflußgrößen eine möglichst treffende Voraussage für die gewünschten Ergebnisse zu erzielen, und um anhand der ausgewählten Kenngrößen eine treffende Aussage über die Qualität des Prozesses und / oder des Produktes zu ermöglichen.

Aus der Vielzahl der Prozessparameter bzw. Produktparameter werden diejenigen höchstens drei Parameter ausgewählt werden, welche möglichst zuverlässige Indikatoren dafür sind, daß der Prozess im Sollbereich arbeitet, bzw. das Produkt mit den Soll- Eigenschaften hergestellt wird.

In der Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 2 wird der Vergleich der Einflussgrößen bzw. Kenngrößen des virtuellen Modells und der gemessenen Einflussgrößen und/ oder Kenngrößen des realen Produktionsprozesses (Meßdaten) nicht nur zur Voraussage sondern auch dazu genutzt, in den

Prozess einzugreifen, um systematische Fehler zu beheben. Hierdurch kann die Produktion von Ausschuß vermieden werden.

Vorzugsweise wird mit der Signalisierung des Voraussageergebnisses aber auch eine Qualitätsüberwachung in dem Sinne vorgenommen, daß die entstehenden Produkte ohne die sonst übliche Prüfung des einzelnen Produktes oder einer Stichprobe des Produktes eine Klassifizierung erhalten, die die Qualitätstufe bzw. den Ausschuß kennzeichnet. Eine Qualitätsprüfung und Klassifizierung am fertigen Produkt, die den Materialfluß sehr behindert und personalaufwendig ist, entfällt.

In der Weiterbildung des Verfahrens nach Anspruch 3 wird Vergleich der Einflussgrößen bzw. Kenngrößen des virtuellen Modells und der gemessenen Einflussgrößen und/ oder Kenngrößen des realen Produktionsprozesses (Meßdaten) zusätzlich genutzt, um Störungen des Prozesses zu ermitteln und/ oder die Aussagekraft des Modells für den Prozeß ständig zu verifizieren. Während die Größe der festgestellten Abweichungen bei Ausgabe des Warnsignals eine Überprüfung des Modells und des Prozesses und der gegenseitigen Abhängigkeit erforderlich machen, stellt ein ausgeprägter zeitlicher Verlauf der Abweichungen (Trend) ein Indiz dafür dar, daß innerhalb des realen Prozesses eine Störung aufgetreten ist, die Abhilfe verlangt, wenn der zuvor festgelegte, für die jeweilige Einflussgröße bzw. Kenngröße spezifische Vertrauensbereich verlassen wird.

In der Weiterbildung des Verfahrens nach Anspruch 4 und 5 wird Vergleich der Einflussgrößen bzw. Kenngrößen des virtuellen Modells und der gemessenen Einflussgrößen und/ oder Kenngrößen des realen Produktionsprozesses (Meßdaten) genutzt, um steuernd oder regelnd in den Prozess einzugreifen. Dabei hat der Vergleich der Prozessdaten mit den Daten des virtuellen Prozesses den Vorteil, daß nicht einzelne Meßdaten für den Eingriff in den Prozess genutzt werden sondern daß der jeweilige steuernde Eingriff aufgrund des hinterlegten Abhängigkeitsmodells sämtliche Auswirkungen des Eingriffs berücksichtigt. Dadurch können negative Auswirkungen des steuernden Eingriffs vermieden werden. Bei einer Regelung werden unzulässige Regelungsschwankungen und –schwingungen vermieden.

Die Nähe des Prozessmodells zu dem reale Prozess wird nach Anspruch 6 und 7 erreicht.

Durch Anspruch 6 wird eine neuartige Prozeßsteuerung geschaffen, welche sich aus mehreren Schritten zusammensetzt und mit dem aus der Vielzahl der Prozessparameter bzw. Produktparameter diejenigen höchstens drei Parameter ausgewählt werden, die möglichst zuverlässige Indikatoren dafür sind, daß der Prozess im Sollbereich arbeitet, bzw. das Produkt mit den Soll-Eigenschaften hergestellt wird. Dabei ist es von besonderer Wichtigkeit, zunächst die erforderliche Art und Zahl der Versuche und Versuchsreihen so festzulegen, daß statistisch zuverlässige Aussagen über den Abhängigkeiten erzielt werden.

Die Auswahl der Produktionsparameter (Kenngrößen und Einflußgrößen) die in das Modell eingehen, ist auch danach zu bestimmen, ob geeignete Sensoren zur Verfügung stehen.

Erforderlich ist aber für die Auswahl auch, daß zuvor ermittelt wurde, daß der ausgewählte Parameter mit hinreichender Wahrscheinlichkeit oder Zuverlässigkeit eine Aussage darüber macht, daß der gesamte Prozess mit allen seinen Kenngrößen und Einflussgrößen stabil innerhalb eines gewünschten Sollbereiches läuft. Ob eine ins Auge gefasste Prozess-Kenngröße diese Voraussetzungen erfüllt, ist zuvor durch Messreihen und Auswertung der Messwerte bei Anwendung mathematischer und statistischer Methoden zu ermitteln. Wenn es sich bei den Kenngrößen um Produkteigenschaften handelt, so ist - je nach Art der Eigenschaft - auch hier eine laufende Messung möglich; andernfalls kommt auch eine Messung in Zeitintervallen in Betracht.

Dabei besteht die weitere Problematik darin, die Meßgrößen der ausgewählten Einfluß- und Kenngrößen, die in Versuchen und/ oder im laufenden Betrieb anfallen und die zunächst lediglich in der Dimension einfacher physikalischer Größen vorliegen, so aufzubereiten, daß sie eine möglichst große Aussagekraft gewinnen (Anspruch 8).

Dazu stehen heute statistische und/ oder mathematische Verfahren zur Verfügung, insbesondere in der als Chemometrie bezeichneten Wissenschaftsdisziplin.

Es wird sodann ermittelt, welche Abhängigkeiten zwischen den Einflußgrößen und den Kenngrößen bestehen.

Durch Anspruch 9 werden geeignete Hilfsmittel zur Ermittlung und Darstellung der gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den Einflußgrößen sowie der Auswirkung der Einflußgrößen auf die Kenngrößen und zur Entwicklung der Abhängigkeitsmodelle bereitgestellt.

Diese Abhängigkeiten können physikalisch/ mathematischer Art sein.

Die Abhängigkeiten können auch so sein, daß sie mathematisch nicht faßbar sind; in diesem Falle werden die Abhängigkeiten durch Versuch ermittelt.

Insbesondere wird sich ergeben, daß zwischen den Einflußgrößen und den Kenngrößen eine zwei-, drei- und mehr-dimensionale Abhängigkeit in Form einer komplexen Matrix von Einflüssen und Ergebnissen besteht, die sich nicht darstellen läßt und eine Voraussage für Produkt und Prozeß und insbesondere eine Steuerung des Prozesses nicht zuläßt.

Es wird daher die Intensität der Auswirkung der Einflußgrößen auf die Kenngrößen ermittelt. Vorzugsweise werden nur die Parameter in die Betrachtung einbezogen, die eine signifikante Auswirkung haben.

Anspruch 5 stellt hierfür ein geeignetes Verfahren bereit.

Es ergibt sich dadurch jedenfalls für den Betriebspunkt oder den Betriebsbereich des Prozesses ein überschaubares Geflecht von Abhängigkeiten.

Das dadurch entstehende Abhängigkeitsmodell kann mathematisch, vorzugsweise linear (Anspruch 10) formuliert oder als neuronales Netz (Anspruch 11) formuliert sein.

Das Abhängigkeitsmodell ist je nach Komplexität des Prozesses einmalig und fix, d.h.: es wird nicht verändert.

Da die Erfindung aber gerade für komplexe Produktionsprozesse, wie sie für die heutige Technik normal sind, Anwendung findet und neue Perspektiven der Entscheidungsfindung ermöglicht, wird durch Anspruch 2 in Weiterbildung der Erfindung vorgeschlagen, daß das Abhängigkeitsmodell durch Auswerten der in der Produktion laufend oder zeitweilig anfallenden Prozessdaten laufend selbsttätig korrigiert, ergänzt oder in sonstiger Weise fortgeschrieben und gespeichert wird. Diese Fortschreibung vollzieht sich, ohne daß der Betriebsmann dies merkt oder hierdurch belästigt wird.

Die Herstellung eines verlässlichen, jedoch überschaubaren und für die elektronische Datenverarbeitung geeigneten Modells geschieht vorzugsweise

durch Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14. Dabei werden von einander abhängige Produktionsparameter (Kenngrößen, welche ein Maß für die Qualität und/ oder Quantität des Produktes oder des Produktionsprozesses sind, oder Einflußgrößen, welche die in dem Produktionsprozess erzielbaren Kenngrößen beeinflussen) auf einen Ersatzparameter zurückgeführt. (Principal Components). Hierdurch läßt sich das Abhängigkeitsgeflecht aus einem vieldimensionalen Koordinatensystem in eine zweidimensionale oder dreidimensionale Abhängigkeit ohne Verlust an Aussagekraft und Sensibilität des Modells zurückführen.

In der Weiterbildung nach Anspruch 15 werden die ausgewählten Einflussgrößen und/ oder Kenngrößen bzw. deren Ersatzgrößen mit den in dem realen Prozess laufend gemessenen entsprechenden Einflussgrößen und/ oder Kenngrößen bzw. den daraus transformierten Ersatzgrößen verglichen und die gegenseitigen Abhängigkeiten der Einflussgrößen fortgeschrieben. Diese Fortschreibung kann laufend geschehen, geschieht jedoch vorzugsweise in gewählten Abständen um auszuschließen, daß in die Fortschreibung systematische Fehler des Produktionsverfahrens oder der Meßverfahren eingehen.

Der Vorteil der Erfindung liegt darin, daß das Modell des durchzuführenden Prozesses einschl. des Produktes mit dem tatsächlich ablaufenden Prozeß ständig fortgeschrieben und dabei durch nur wenige Einfluss- und Kenngrößen mit zuvor definierter und vorzugsweise (Anspruch 15) ständig fortgeschriebener gegenseitiger Abhängigkeit beschrieben wird. Es ist daher möglich, den Prozeß unmittelbar in die Produktplanung und Produktionsplanung einzubeziehen und entsprechend anzupassen; mit anderen Worten: In dem Rechner, welcher den realen Prozeß steuert, läuft gleichzeitig ein virtueller Prozeß unter Einbeziehung der zuvor ausgewählten Einflussgrößen und Kenngrößen ab. Es findet ein ständiger Vergleich zwischen der realen Prozeßsituation und der virtuellen Prozeßsituation statt. Das bedeutet, daß der Auswahl geeigneter Sensoren, die in der Lage sind, die realen Prozeßdaten, d. h. Einflussgrößen und Kenngrößen wiederzugeben, besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muß. und andererseits der reale Prozess in Abhängigkeit von den durch den virtuellen Prozess vorgegebenen Sollgrößen gesteuert wird.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Beispielen und anhand der Figuren 1 bis 8 weiter beschrieben.

Als Produktionsprozesse in dieser Erfindung kommen in Betracht:

- ❖ Kontinuierliche Prozesse, die typisch sind, für die petrochemische, chemische oder ähnliche Industrien.
- ❖ Diskontinuierliche oder diskrete Prozesse, die insbesondere im Maschinenbau, Fahrzeugbau und ähnlichen Industrien angewandt werden.
- ❖ Gemischte Prozesse, typisch z. B. für den chemisch-textilen Sektor, wo kontinuierliche und diskontinuierliche Prozesse sich in zwei unterschiedlichen Prozeßstufen derselben industriellen Produktion folgen und die Gewichtung jeder Stufe sehr unterschiedlich sein kann.

Ein Produktionsprozeß, durch den Roh- und Hilfsmaterialien in ein gewünschtes Endprodukt überführt werden, kann durch ein schematisches Modell dargestellt werden, welches durch die eingestellten physikalischen oder chemischen Parameter des Produktes und/oder des Produktionsprozesses, die Störgrößen (wie z. B. Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur, Luftdruck, elektrische Spannungsausfälle und dergleichen) und durch die überwachten Parameter (z. B. Temperaturen, Drücke) repräsentiert wird. Die Steuerung dieses Prozesses geschieht normalerweise dadurch, daß man von Hand oder automatisch eine bestimmte Anzahl von variablen Parametern einstellt, von denen man annimmt, daß sie den Produktionsprozeß repräsentieren und für den Produktionsprozeß und/ oder das Produkt maßgeblich sind. Gerade diese variablen Parameter, die in angemessener Weise visualisiert und statistisch ausgewertet werden, z.B. durch Alarmsignale, Mittelwertbildung, Trendbildung usw., sollen dem Betriebsmann erlauben, die Steuerung des Prozesses und folglich auch die Variationsmöglichkeiten des Endproduktes zu beherrschen und sich dadurch den veränderlichen Markanforderungen anzupassen.

Ein solcher Produktionsprozeß mit wesentlichen Einflußfaktoren ist in Fig. 1 dargestellt.

Die Abhängigkeiten zwischen den Kenngrößen von Prozeß und Produkt und den Einstellgrößen und nicht einstellbaren Parametern (d.h.: Störgrößen), Logistik (Roh- und Hilfsmaterial einschl. elektrische, pneumatische Energie und Wasser) sind zwar ersichtlich und geben die Möglichkeiten der Messung, Kontrolle und

Steuerung von Produktion und Produkt durch Messung von aussagekräftigen Parametern (Kenngrößen); jedoch sind diese Abhängigkeiten bei komplexen Prozessen nur unvollständig darstellbar, so daß auch die Möglichkeiten der Steuerung begrenzt sind.

Derartige Produktionssysteme können heute mit Hilfe des „Computer Integrated Manufacturing“ (CIM) als virtuelle Systeme in einem orthogonalen Koordinatensystem dargestellt werden.

Dabei werden in der untersten Ebene, wie dies in Fig. 2 dargestellt ist, alle Elemente des Prozesses, also z. B. Maschinen, Reaktoren, Sensoren, Steuerelemente dargestellt. Die höheren Ebenen 1 bis 4 enthalten andere funktionale Bereiche mit der Besonderheit, daß diese zunehmend komplexe Reaktionen enthalten und unterschiedlich oder gleichmäßig ansteigenden Reaktionszeiten entsprechen. Jeder Bereich einer auszuführenden automatischen Steuerung ist auf der jeweiligen Ebene des CIM als autonomer Funktionsbereich anzusehen, dazu bestimmt, als Teil eines einheitlichen Automationssystems vollständig integriert zu werden. Nach dem Grundprinzip des CIM erfolgt daher die Planung von oben nach unten und die Durchführung von unten nach oben, so daß die Automation zwar in Schritten, jedoch in einem einheitlichen Bezugsrahmen entwickelt, d. h. geplant und ausgeführt werden kann.

In Fig. 3 ist eine Anlage zur Herstellung kontinuierlicher, synthetischer Fasern in einem Diagramm dargestellt mit den Prozeßstufen: Speicherung der Polymerchips, Trocknung des Polymers, Spinnen, Aufwickeln, automatischer Transport der Spulen, Zwischenspeicherung, Auswahl und Verpackung (nicht gezeigt). Der Prozeß besteht also einerseits aus einem kontinuierlichen und andererseits aus einem diskontinuierlichen Prozeß, wobei die Gewichtung beider Prozeßbestandteile 50 : 50 ist. In der funktionellen Darstellung dieses Prozesses nach den CIM-Prinzipien sind lediglich die beiden ersten Ebenen vorhanden (repräsentiert). Dabei werden auf der linken Seite die Ebenen des kontinuierlichen Prozesses und auf der rechten Seite die Ebenen des diskontinuierlichen Prozesses dargestellt. Der diskontinuierliche Prozeß bezieht sich insbesondere auf die automatisierte Handhabung des Produktes (der

Spulen). Dabei wurde auf der Ebene 1 in ingenieurmäßiger Betrachtung der Funktionen eine weitere Unterteilung angebracht, mit den Untersektionen

- ❖ Automation,
- ❖ Steuerung und Kontrolle,
- ❖ Überwachung.

Wenn man dieses Diagramm vom Standpunkt des Betriebsmannes aus betrachtet, so wirkt die Darstellung relativ inhaltslos. Es sind lediglich Daten, jedoch keine Information erhältlich, wobei als Daten die punktweise von den Anzeigegeräten signalisierten Werte, z. B. Temperatur, als Information die Summe von miteinander zusammenhängenden Daten bezeichnet werden.

Zwar können die Daten, die in der Ebene 1 der industriellen Praxis anfallen, auch einige typische Informationen, wie zeitliche Daten, Trends, Durchschnittswerte, Extremwerte darstellen; jedoch sind diese Informationen nicht ausreichend, um die richtige Prozeßstrategie zu ermitteln und zu verfolgen.

Die Daten und die daraus zusammengestellten Informationen dienen bisher lediglich zur Erzeugung eines Alarmsignals und zur Auslösung der notwendigen Maßnahmen zur Bewältigung des Alarms (Management und Alarm).

Es wird hier deutlich, daß die in Fig.2 auf den übergeordneten Ebenen II, III und IV dargestellten Funktionen,

nämlich insbesondere:

Produktplanung Unternehmensplanung Finanzielle Planung	auf der Ebene des Management der Produktionsstätte bzw. Unternehmens
Produktionsplanung, Produktivitätsplanung Unterhalt, Ersatzteile, Logistik, Instandhaltung Qualitätskontrolle und -management	auf der Ebene des Produkts mit dem Managements der Produktion bzw. des Produktbereichs
Zeitplanung, Zeitverfolgung der Produktion, Lagerbestand: Produkt Material, Lagerhaltung, Logistik, Beschaffung	auf der Ebene der Betriebsleitung (supervision)

nach wie vor nur durch Menschen wahrgenommen werden können und es muß diese menschliche Komponente der Automation weiter entwickelt werden, um den Produzenten in die Lage zu versetzen, die Produktionsanlage zu beherrschen.

Ganz unabhängig vom Grad der Automatisierung wird dabei der Betriebsmann der unteren Ebenen stets von folgenden Fragen gejagt:

- ❖ Sind die berücksichtigten variablen Parameter ausreichend, um den Produktionsprozeß wirklich zu steuern?
- ❖ Bedeutet die Steuerung einer oder einiger der Variablen tatsächlich die Steuerung des Gesamtprozesses?
- ❖ Welches sind die bedeutendsten Variablen des Prozesses?
- ❖ Welche Variablen bestimmen, daß das Produkt die gewünschten Spezifikationen hat?
- ❖ Welche Änderungen der maßgeblichen Variablen ist erforderlich, damit das Produkt wieder die Spezifikationen erreicht.
- ❖ Gibt es ein Modell des gesamten Produktionsprozesses?

Durch die Erfindung werden diese Fragen zusammengeführt. Die einzelnen Variablen bilden das Gesamtsystem. Sie sind in einer vielfältigen Weise miteinander verbunden. Daher sieht die Erfindung vor, daß der Gesamtprozeß in einem Modell erfaßt und daß dieses Modell in der Prozeßsteuerung gespeichert und zur Steuerung des Prozesses ausgewertet wird.

Dazu wird zunächst bestimmt, welche physikalischen und/oder chemischen Parameter des Produktes und/oder des Produktionsprozesses das Produkt oder den Prozeß so genau charakterisieren, daß die Qualität des Produktes innerhalb der Spezifikation und die erfolgte Quantität innerhalb der vorgegebenen Mengen liegt. Diese Parameter werden als Kenngrößen bezeichnet. Diese Kenngrößen werden beeinflußt von einstellbaren und nicht einstellbaren Produktparametern und/oder Prozeßparametern. Auch diese sogenannten Einflußgrößen sind im einzelnen zu ermitteln.

Es wird sodann ermittelt, welche Auswirkungen auf andere Produktparameter oder Prozeßparameter durch Änderungen der Einflußgrößen hervorgerufen

werden. Ebenso wird die Auswirkung der Änderung der Einflußgrößen auf andere Einflußgrößen untersucht.

Hierzu werden in Versuchsreihen des realen Prozesses Änderungen der Einflußgrößen bewußt herbeigeführt oder es werden zufällige Änderungen ausgewertet. Jedenfalls wird ein Abhängigkeitsmodell der einzelnen Parameter und Einflußgrößen erstellt, so daß sich ein netzartiger Zusammenhang zwischen allen Einflußgrößen und Parametern ergibt.

Hierzu werden zunächst mehrere ausgewählte physikalische Parameter des Produktes oder des Prozesses gemessen und in Tabellen zusammengefaßt. Die Verwertbarkeit dieser Meßwerte für die Prozeßsteuerung hängt zunächst davon ab, daß wirklich solche Parameter erfaßt wurden, die für die Qualität und/ oder Quantität des Produktes oder der Produktion eine signifikante Bedeutung haben. Ebenso sind Ausreißer und sonstige Ergebnisse zu eliminieren, die durch Zufälligkeiten, d.h.: Geschehnisse außerhalb des geplanten normalen Prozeßverlaufs entstanden sind.

Aber auch dann hat eine solche Tabelle mit einer Vielzahl von Meßwerten einer Vielzahl von Parametern keine Aussagekraft und ist als Steuerungsmittel ungeeignet. Es ist vielmehr eine geeignete Auswertung erforderlich.

Hierbei sind mathematische und/oder statistische Methoden hilfreich, die vor allem auch für die Chemie (Chemometrie) entwickelt wurden.

Dabei geht es darum, die Meßwerte durch besondere Kennwerte (Analysewerte) zusammenzufassen, um hieraus eine Aussage über den grundsätzlichen Verlauf der Messung zu gewinnen. So können aus den Meßergebnissen eines Parameters z.B. Mittelwerte, Medianwerte, Standardabweichungen, Varianz, Häufigkeitsverteilungen gebildet werden.

Figur 8 zeigt im einem zweidimensionalen Koordinatensystem die Messwerte einer Einflussgröße X und einer Kenngröße Y. In den Versuchsreihen hat sich herausgestellt, dass bei Einstellung unterschiedlicher Werte für X die Messwerte für Y in einem engen Bereich mit einer Längserstreckung liegen. Zur Reduzierung der Zwei-Dimensionalität können nun die Messwerte in ein anderes Koordinatensystem transformiert werden. Hierzu wird eine Achse des neuen Koordinatensystems, nämlich die Koordinate XX durch den Bereich in Richtung der Längserstreckung, also z. B. auf den Medianwert der Meßwerte gelegt.

Dadurch erhält man eine neue Komponente des Verfahrens, die hier als XX bezeichnet wird. Diese Komponente XX ist nicht mehr von der anderen hierzu senkrechten Komponente YY und auch nicht -im dreidimensionalen Raum- von der senkrechten Komponente ZZ abhängig. Die in dieses Koordinatensystem übertragenen Komponenten sind nicht mehr mit den ursprünglichen Parametern bzw. deren Meßwerten identisch sondern mit ihnen über die Richtungskomponenten der neuen Koordinaten gegenüber den Ursprungskoordinaten verbunden.

Wenn die Untersuchung weiterer Einflussgrößen oder Kenngrößen nunmehr auf das neue Koordinatensystem XX-YY-ZZ bezogen wird, sind die weiteren Einflussgrößen oder Kenngrößen mit den Richtungskomponenten der neuen Koordinaten zu beaufschlagen (belasten). Dagegen tritt in diesem Koordinatensystem die Kenngröße Y in ihrer Abhängigkeit von der Einstellgröße X nicht bzw. nur mit ihrer Streuung gegenüber der für das neue Koordinatensystem angenommenen Richtung –z.B. Medianwert- in Erscheinung.

Fig.6 zeigt in einem dreidimensionalen Koordinatensystem derartige Meßwerte für ein Produkt, die die Eigenschaften x, y und z des Produktes bei zwei unterschiedlichen Einstellgrößen darstellen. Es zeigt sich, daß die Mehrzahl der Meßwerte jeweils in zwei Wolken liegen, die jeweils einen engen Bereich mit einer deutlichen Längserstreckung bilden. Die Richtungskomponente dieser Längserstreckung hat eine räumliche Lage in Richtung jeder der Koordinaten. Es erfolgt nun eine Reduktion der Dimensionalität, indem die Meßwerte oder Analysewerte (je nach dem, was in dem Diagramm dargestellt ist) auf eine neue Hauptachse eines neuen Koordinatensystems transformiert werden, die in der Längserstreckung, also z.B. auf dem Median einer der Wolken liegt. Der Nullpunkt des neuen Koordinatensystems wird vorzugsweise auf die Längserstreckung der anderen Wolke gelegt, so daß beide Wolken mit ihrer Längserstreckung in einer der Koordinatenebene liegen. Es erfolgt also auch hier eine Umformung der Ursprungsparameter in neue Komponenten, welche mit den Richtungskomponenten des neuen Koordinatensystems belastet sind.

Nach dieser Methode, als Principal Component Analysis bezeichnet (vgl. z.B.: Christian Holm, Principal Components & Multidimensional Fit, in <http://rkb.home.cern.ch>) gelingt es nicht nur, die Dimensionalität zu reduzieren

sondern auch die Abhängigkeiten oder Nicht -Abhängigkeiten zwischen einzelnen Parametern zu entdecken und soweit zu quantifizieren, daß damit ein Modell des Prozesses aufgebaut werden kann.

Es kann auf diese Weise ein mathematisches Modell gebildet werden, das zumindest für den normalen Betriebsbereich des Prozesses hinreichend zutreffend ist.

Es kann aber auch ein neuronales Netz gebildet werden, das anhand der ermittelten Abhängigkeiten erlaubt, in Ermangelung eines mathematischen Modells die Lösung von Bewegungen innerhalb dieses neuronalen Netzes selbst zu generieren.

Das mathematische Modell bzw. dieses neuronale Netz wird ständig anhand der Erfahrungen fortgeschrieben, da die von dem Netz aufgrund einer Änderung ermittelten Lösungen anhand geeigneter Messungen innerhalb des Produktionsprozesses ständig überwacht und die Korrekturwerte wiederum innerhalb des mathematischen Modells bzw. innerhalb des neuronalen Netzes abgelegt und gespeichert sowie im Anschluß daran entsprechend berücksichtigt und ausgewertet werden.

Abhängig vom Einzelfall kann es jedoch bevorzugt sein, daß diese Fortschreibung nicht ständig geschieht, sondern in jedem Einzelfall veranlasst wird. Es muss nämlich vermieden werden, daß Fehler des Produktionsprozesses in den Modellprozess eingehen. Wenn z. B. in dem Produktionsprozess ein Teil schadhaft geworden ist, z. B. ein Sensor falsche Messwerte liefert, so darf dieser Fehler nicht in dem Sinne in den Modellprozess eingehen, dass in dem Modellprozess eine andersartige Abhängigkeit gespeichert wird.

Dies gilt nicht nur für mathematisch definierte Abhängigkeiten sondern auch für Abhängigkeiten, die in einem neuronalen Netz niedergelegt sind. Aus diesem Grunde stellt im Rahmen dieser Erfindung die Planung und Pflege des neuronalen Netzes und ebenso die Planung und Pflege des mathematischen Abhängigkeitsmodells eine zusätzliche Managementaufgabe dar, vergleiche insofern Figur 5.

Ein derartiges Modell gegenseitiger Abhängigkeiten von Parametern, ihren Auswirkungen auf eine Kenngröße und die Rückführung der durch Messung

ermittelten tatsächlichen Auswirkungen auf das Modell ist in Figur 4 dargestellt. Es sind hier die in den einzelnen Ebenen in Erscheinung tretenden Parameter und Einflußgrößen in ihrer Gegenseitigen Abhängigkeit und Verknüpfung dargestellt. Dabei ist hinzuzufügen, daß es sich nur um ein Schema handelt, aus welchem keine Gewichtung der Parameter und keine Quantifizierung und keine Gewichtung der Abhängigkeiten ersichtlich ist. Es ist jedoch aus dem Modell ersichtlich, daß dieses Modell, wenn es als Programm- und Speichermodul in der Steuereinrichtung der Produktionsanlage hinterlegt wird, für den Bediener nicht in Erscheinung tritt, d. h.: für ihn eine "Black Box" ist. Es erlaubt jedoch die Eingabe von Entscheidungen und Steuergrößen in den dafür vorgesehenen Ebenen – siehe Ebene IV- mit Rückwirkung und Durchgriff auf alle anderen Ebenen.

Bei der ständig laufenden Anpassung dieses Modells an den tatsächlich gefahrenen Prozess werden laufend die Werte der Prozeßvariablen und alle anderen Parameter des Prozesses und des Produktes, die kontinuierlich oder nicht kontinuierlich durch irgendwelche Meßgeräte signalisiert werden, erfaßt und die in dem Modellprozess niedergelegten Abhängigkeiten dieser Parameter entsprechend den laufenden Werten korrigiert.

Um gute Resultate zu erzielen, müssen die Variablen, die zum Gegenstand des mathematischen bzw. neuronalen Netzes gemacht werden, den Prozeß wirksam repräsentieren (Kenngrößen). Vor dem Beginn der Planung des Modells (mathematisches Modell bzw. des neuronalen Netzes) ist es daher erforderlich, daß die Technologen die Variablen analysieren, welche nach ihrer Ansicht den Prozeß repräsentieren. Dadurch wird das Maß ihrer Bedeutsamkeit für den Prozeß verifiziert. Für diese Analyse stehen Mittel der "Chemometrie" bereit. Hierbei handelt es sich um mathematische und statistische Methoden zur Analyse und Interpretation komplexer multivariabler Systeme. (vgl. z.B.: R.C. Graham, Data Analysis for the Chemical Science VCH Weinheim, 1993 und M. Otto, Analytische Chemie, VCH Weinheim 1995)

In Fig.5 sind die Ebenen 2 und 3 mit den durch diese Erfindung geschaffenen zusätzlichen Automationselementen, Vernetzungen des Datenflusses, den daraus gewonnenen Informationen und den sich daraus ergebenden

Steuerungsmöglichkeiten noch einmal dargestellt. Es handelt sich insbesondere um folgende aus den Daten der Ebenen 0 und 1 gewonnenen Informationskomplexe der Ebene 2 und folgende sich dadurch ergebende strategische Entscheidungselemente auf Ebene 3:

Ebene 2	Ebene 3
statistische Methoden Kontrolldiagramme nicht - lineare Techniken (neuronale Netze) multivariable statistische Methoden (Chemometrie) EDV-Überwachung mit Server – Diagnose/ Ansteuerung (Tracking)/ und Zufallsbelegung	totales Qualitätsmanagement, ergänzt um die vom Abnehmer kommenden Daten.
interne Qualitätskontrolle/ management (Chemometrie) Stichproben Management Echtzeit Qualitäts Kontrolle	Planung und Pflege des neuronalen Netzes

Mit diesen Mitteln wird es möglich, aus den durch Messung ermittelten Prozeßdaten nicht nur statistische Werte und Trends zu gewinnen, sondern auch Erklärungen über den Verlauf des Prozesses und seine inneren Zusammenhänge zu gewinnen, festzustellen, welches die wichtigsten Parameter sind und wie sie zusammenhängen, den Verlauf und Trend auch der Variablen zu ermitteln, die nicht laufend signalisiert werden und laufende Kontrollblätter zu erzeugen. Vor allem aber wird nicht mehr nur der Verlauf einzelner Variablen sondern der gesamte Prozeß in einer Matrix dargestellt. Diese Matrix enthält die gesamte zuvor optimierte Abhängigkeitsstruktur der hauptsächlich einflußreichen Prozeßvariablen und sonstigen Einflußgrößen. Wenn diese Matrix gespeichert wird, dient sie als Basis dafür, den Prozeß als Ganzes und das daraus gewonnene Endprodukt in einer Regelschleife zu steuern und durch ständige Ergänzung und Fortschreibung der in der Matrix niedergelegten Abhängigkeitsstruktur der Einflußgrößen automatisch nach vorgegebenen Regeln und zu vorgegebenen Zeiten zu optimieren.

Zusammenfassend ist in Figur 7 noch einmal die Erfindung mit ihren einzelnen Elementen schematisch dargestellt. Zunächst ist in Versuchsreihen an dem real ablaufenden Prozess und dem dabei erzeugten Produkt mit einer geeigneten Auswahl von Sensoren ein Raster der Produktionsparameter, d. h. der Einflussgrößen und der Kenngrößen festzustellen. Von diesen Produktionsparametern werden diejenigen ausgesucht, die den größten Einfluss auf die Qualität des Produktes und/oder des Prozesses haben. Zur Verringerung der Dimensionalität erfolgt - falls notwendig - eine Transformation der Produktionsparameter oder einer Gruppe von Produktionsparametern oder mehrerer Gruppen von Produktionsparametern jeweils in ein anderes Koordinatensystem, in dem zumindest ein Abhängigkeitsverhältnis eliminiert ist. Es entsteht hierdurch ein Geflecht von Abhängigkeiten der ausgewählten Parameter. Dieses Geflecht von Abhängigkeiten wird als Modell einem Prozessrechner vorgegeben. Dieser Prozessrechner erlaubt es aufgrund der eingespeisten Parameter und Abhängigkeit für jeden geplanten Eingabewert eine Voraussage (Prediction) des Ergebnisses, insbesondere der Qualität des Prozesses bzw. Produktes zu machen. Es wird insbesondere möglich, bei laufendem realen Produktionsprozess die gleichen Eingabewerte in den realen Prozess und in den parallel laufenden virtuellen Prozess (model) einzugeben. Die hierbei von dem Modell gelieferte Vorhersage berücksichtigt in der zuvor eingegebenen Komplexität und Betriebsbereichen eine Vielzahl von Einflussgrößen und Kenngrößen. Damit stellt die Erfindung eine Abkehr von der bisher üblichen Methode dar, bei welcher die einzelnen Messgrößen (Einflussgrößen oder Kenngrößen) jeweils isoliert und ohne Rücksicht auf die Einbettung dieses Parameters in das Geflecht von Wirkung und Gegenwirkung aller Parameter einbezogen wird.

Diese Vorhersage durch das Modell erlaubt es, die Einflussgrößen, die für das gewünschte Vorhersageergebnis im Modell eingestellt wurden, auch dem realen Prozess aufzugeben. Die nunmehr von den Sensoren gelieferten Ergebnisse des realen Prozesses können mit den Ergebnissen mit der Vorhersage des Modells laufend oder in Zeitabständen verglichen werden. Dadurch wird es insbesondere möglich, eine Regelschleife zu dem realen Produktionsverfahren aufzubauen und

die Eingabe (Input Data) so zu verstellen, dass das tatsächliche Ergebnis und das Vorhersageergebnis möglichst genau übereinstimmen.

Darüber hinaus kann der Vergleich des Vorhersageergebnisses und des tatsächlichen Ergebnisses aber auch Veranlassung geben, die Plausibilität des Vergleichsergebnisses zu überprüfen. Dazu enthält das Modell einen Baustein, in dem vorgegeben ist, in welchen Grenzen eine Abweichung zwischen Modellergebnis und realem Ergebnis zu erwarten ist. Wird der definierte Bereich der Plausibilität verlassen, so ist ein Eingriff in den realen Prozess erforderlich, um eventuelle Fehler zu beheben. Ein Verstoß gegen die Plausibilität liegt insbesondere dann vor, wenn das Vergleichsergebnis einen zeitlichen Trend hat, d. h. laufend größer wird, obwohl die Eingabe (Input Data) konstant bleiben.

Es kann in diesem Baustein jedoch auch definiert sein, welchen Einfluss Eingabeänderungen haben dürfen. Wenn hier bestimmte Werte, die zuvor zu ermitteln sind, überschritten werden, wird neben der Überprüfung des realen Prozesses auch eine Überprüfung des Modells erforderlich um festzustellen, ob sämtliche Einflussgrößen und Kenngrößen in einer mit der Realität übereinstimmenden Gewichtung berücksichtigt worden sind.

Es ist ersichtlich, dass hier das Management, d.h. Unternehmensleitung und Betriebsleitung ein umfassendes Werkzeug erhalten, um in allen Stufen der Erzeugung eines bestimmten Produktes, angefangen von der Produktplanung bis hin zur Produktionssteuerung alle wichtigen Entscheidungen kompetent und schnell zu treffen.

## Ansprüche

- 1 Verfahren zur Durchführung eines automatisierten Produktionsprozesses, bei welchem Produktionsparameter gemessen und der Produktionsprozeß in Abhängigkeit von den Meßwerten durch einen Prozessrechner gesteuert wird, wobei die Produktionsparameter die Kenngrößen, welche ein Maß für die Qualität und/ oder Quantität des Produktes oder des Produktionsprozesses sind, sowie die Einflußgrößen, welche die in dem Produktionsprozess erzielbaren Kenngrößen beeinflussen, umfassen, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Prozessrechner ein virtuelles Modell des Produktionsprozesses (Abhängigkeitsmodell) aufgebaut und betrieben wird, in welches Modell lediglich eine beschränkte Auswahl von vorzugsweise weniger als 4 (vier) Produktionsparametern mit ihren realen zuvor anhand des Produktionsprozesses ermittelten gegenseitigen Abhängigkeiten derart gespeichert wird, daß die Eingabe von Einflußgrößen in das virtuelle Modell die Vorhersage derjenigen Kenngrößen ergeben, welche mit diesen Einflußgrößen als Sollwerten des realen Prozesses erzielbar sind.
- 2 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einflussgrößen und/ oder Kenngrößen des virtuellen Modells mit gemessenen Einflussgrößen und/ oder Kenngrößen des realen Produktionsprozesses (Meßdaten) verglichen und die Abweichungen signalisiert und dabei vorzugsweise in Klassen signalisiert und den Produkten des realen Produktionsprozesses zugeordnet werden.
- 3 Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Vergleich der Einflussgrößen bzw. Kenngrößen des virtuellen Modells und der gemessenen Einflussgrößen und/ oder Kenngrößen des realen Produktionsprozesses (Meßdaten) ermittelt wird, ob die festgestellten Abweichungen hinsichtlich ihrer Größe und /oder hinsichtlich ihres zeitlichen Verlaufs innerhalb eines zuvor festgelegten, für die jeweiligen Einflussgrößen bzw. Kenngrößen spezifischen Vertrauensbereich liegen,

und daß ein Warnsignal ausgegeben wird, wenn der Vertrauensbereich verlassen wird.

- 4 Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Einflussgrößen und/ oder Kenngrößen des virtuellen Modells mit gemessenen Einflussgrößen und/ oder Kenngrößen des realen Produktionsprozesses (Meßdaten) verglichen und der reale Produktionsprozeß in Abhängigkeit von den festgestellten Abweichungen zwischen dem Modell und dem realen Prozeß gesteuert wird.
- 5 Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 dadurch gekennzeichnet, daß in dem realen Prozess diejenigen Einflußgrößen als Sollgrößen vorgegeben und eingestellt werden, welche in dem Modell aufgrund der eingespeicherten gegenseitigen Abhängigkeiten zu den gewünschten Kenngrößen führen.
- 6 Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 dadurch gekennzeichnet, daß die Auswahl der Produktionsparameter des virtuellen Prozesses anhand von Versuchsreihen des realen Prozesses erfolgt, in welchen die gegenseitigen Abhängigkeiten der Produktionsparameter des realen Prozesses bewertet und gewichtet werden.
- 7 Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß In den Versuchsreihen
  - > ermittelt wird, welche physikalischen oder chemischen Parameter des Produktes und/oder des Produktionsprozessen die gewünschte Qualität und/oder Quantität des Produktes und/oder Produktionsprozesses hinreichend genau charakterisieren (Kenngrößen);
  - > ermittelt wird, welche einstellbaren und nicht einstellbaren, jedoch veränderlichen Produktparameter oder Prozessparameter einen Einfluß auf die Kenngrößen haben (Einflußgrößen) ;

- > durch Auswerten absichtlicher oder zufälliger Änderungen der Einflußgrößen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf vorgegebene Kenngrößen des Produkts (Produktparameter) oder Kenngrößen des Prozesses ( Prozessparameter) bzw. andere Einflußgrößen die gegenseitige Abhängigkeit zwischen den Produktionsparametern, insbesondere zwischen den Kenngrößen und den Einflußgrößen bestimmt wird,
  - > diejenigen höchstens drei Produktionsparameter für den virtuellen Prozeß ausgewählt werden, welche aufgrund der ermittelten Abhängigkeiten den virtuellen Prozeß im gewünschten Bereich der ausgewählten Kenngrößen am besten beschreiben.
- 8 Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7  
dadurch gekennzeichnet, daß  
als Analysewerte solche Kenngrößen aus den vorhandenen Meßwerten gewonnen werden, welche nach mathematischen und / oder statistischen Methoden der Chemometrie gewonnen werden, insbesondere Mittelwert, Meridianwert, Standardabweichung, Varianz.
- 9 Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8  
dadurch gekennzeichnet, daß  
zur Ermittlung der gegenseitigen Abhängigkeit zwischen den Einflußgrößen sowie der Auswirkung der Einflußgrößen auf die Kenngrößen die anfallenden Meßwerte durch Anwendung mathematischer und statistischer Methoden analysiert und interpretiert werden und daß aus den Ergebnissen der Analyse (Analysewerte) ein Abhängigkeitsmodell entwickelt und gespeichert wird.
- 10 Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9  
dadurch gekennzeichnet, daß  
das Abhängigkeitsmodell mathematisch, vorzugsweise linear, formuliert ist.
- 11 Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9  
dadurch gekennzeichnet, daß  
das Abhängigkeitsmodell als neuronales Netz (semantic network, neural network)

ausgestaltet ist.

- 12 Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11

Kennzeichen:

von mehr als drei gemessenen einstellbaren Einflußgrößen werden diejenigen (zwei oder drei) Einflußgrößen bzw. Analysewerte für das Modell ausgewählt, deren Meßwerte bzw. Analysewerte einen Bereich mit der größten linearen Erstreckung einnehmen, und welche demnach hinsichtlich ihrer gegenseitigen Abhängigkeit und/ oder ihrer Auswirkung auf die Kenngrößen die größte Bedeutung haben.

- 13 Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12

Kennzeichen:

daß die Anzahl der gemessenen Produktionsparameter dadurch auf die Anzahl der in das Modell eingehenden Modellparameter reduziert wird, daß zwei gemessene, von einander abhängigen Produktionsparametern (Kenngrößen, welche ein Maß für die Qualität und/ oder Quantität des Produktes oder des Produktionsprozesses sind, oder Einflußgrößen, welche die in dem Produktionsprozess erzielbaren Kenngrößen beeinflussen) in ein Koordinatensystem transformiert werden, dessen eine Achse in Richtung der größten linearen Erstreckung, insbesondere auf dem Mittelwert oder dem Medianwert, desjenigen Bereichs liegt, in welchem die Meßwerte bzw. Analysewerte liegen, so daß die Werte dieser Achse den Ersatzparameter für das Paar von Produktionsparametern dient,

daß dieses Verfahren erforderlichenfalls auch mit anderen Paaren abhängiger Produktionsparameter und/oder abhängiger Produktionsparameter und Ersatzparameter wiederholt wird,

und daß die verbliebenen Ersatzparameter als Modellparameter in das Modell eingehen.

- 14 Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13,  
dadurch gekennzeichnet, daß

Das Modell nicht mehr als drei-dimensional ist, wobei das Modell dadurch erstellt wird, daß die Meßwerte bzw. die daraus gewonnenen Analysewerte in ein zwei- oder dreidimensionales Koordinatensystem transformiert werden, dessen Hauptachsen

jeweils in Richtung der größten linearen Erstreckung, insbesondere auf dem Mittelwert oder dem Medianwert, derjenigen (zwei oder drei) Bereiche liegen, in welchen die Meßwerte bzw. Analysewerte der ausgewählten zwei oder drei Einflußgrößen liegen.

15 Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14

dadurch gekennzeichnet, daß

in dem Modell die gegenseitigen Abhängigkeiten der Einflussgrößen untereinander und/ oder die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den Einflussgrößen und den Kenngrößen durch Auswerten von laufend oder zeitweilig anfallenden Meßdaten des realen Prozessen korrigiert, ergänzt oder in sonstiger Weise fortgeschrieben werden, vorzugsweise laufend selbsttätig fortgeschrieben werden.

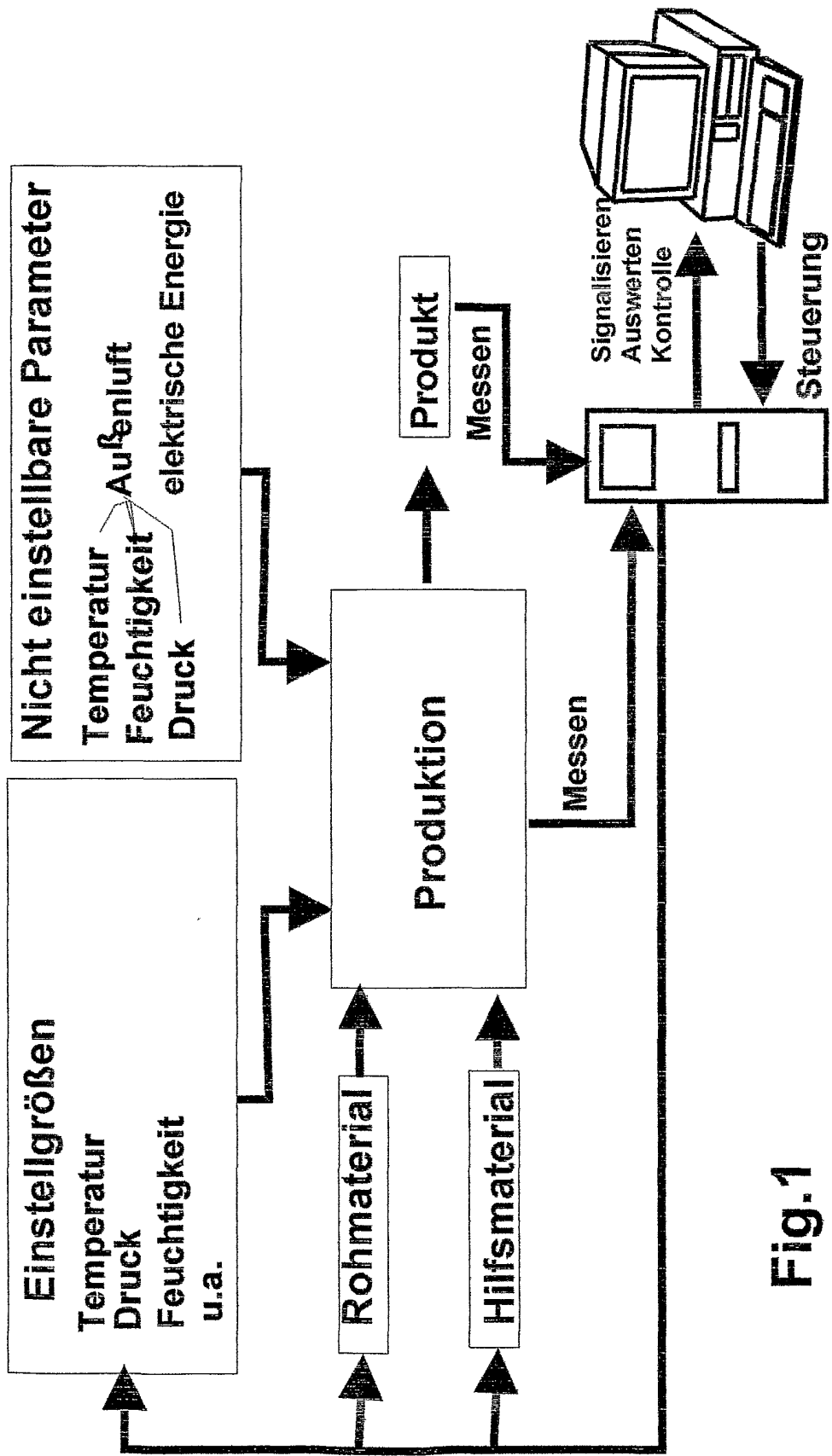


Fig.1

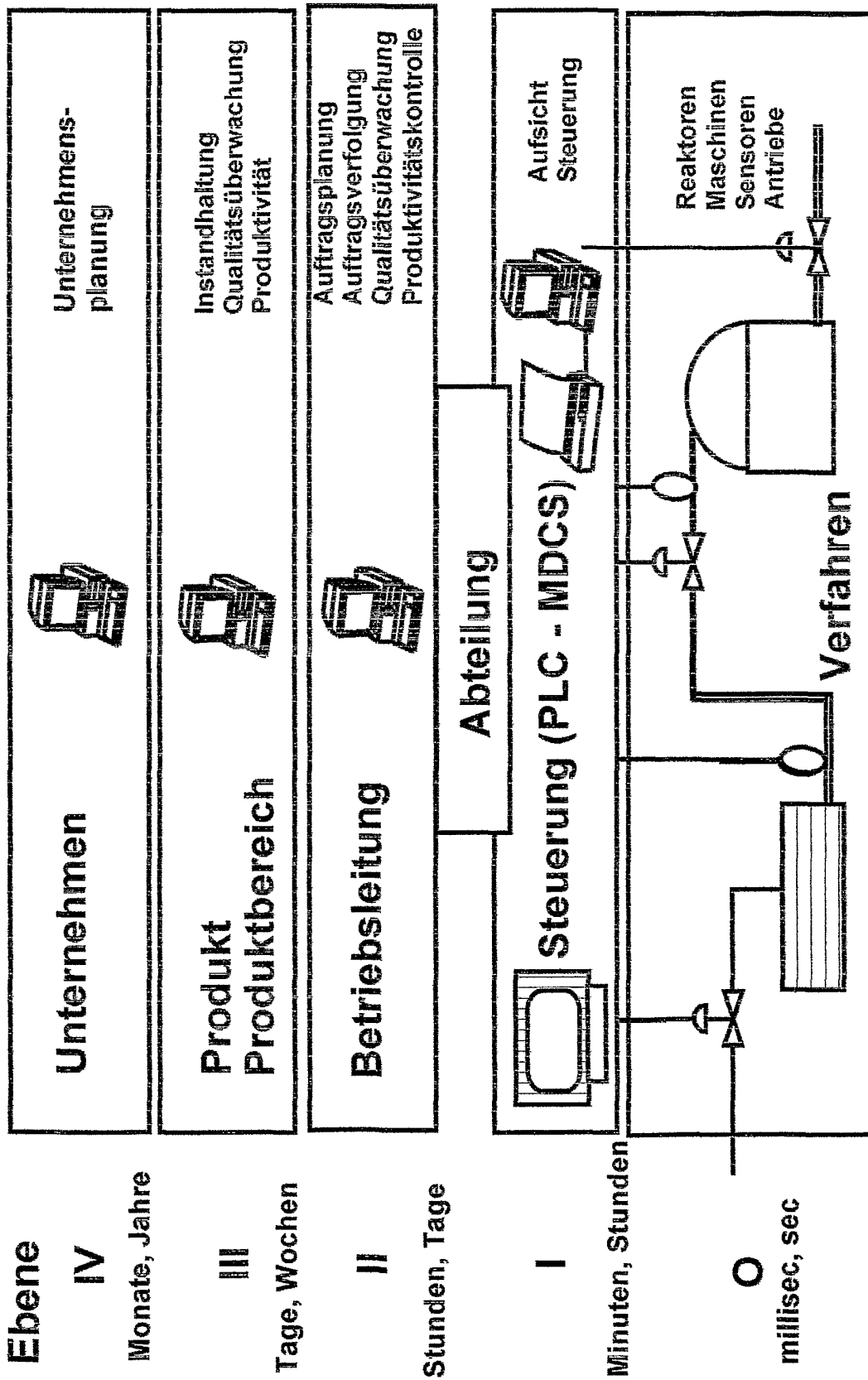


Fig.2

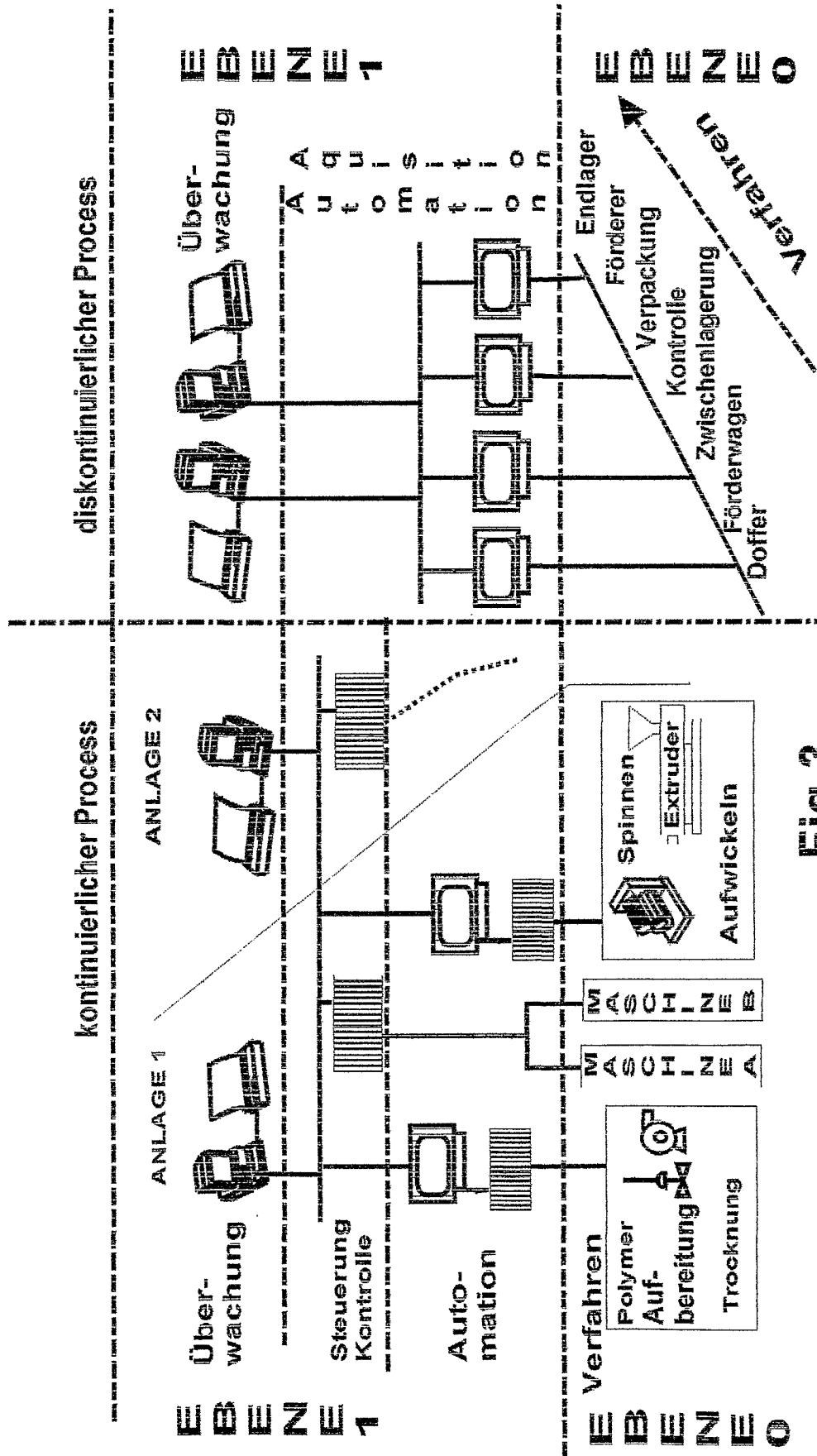


Fig. 3

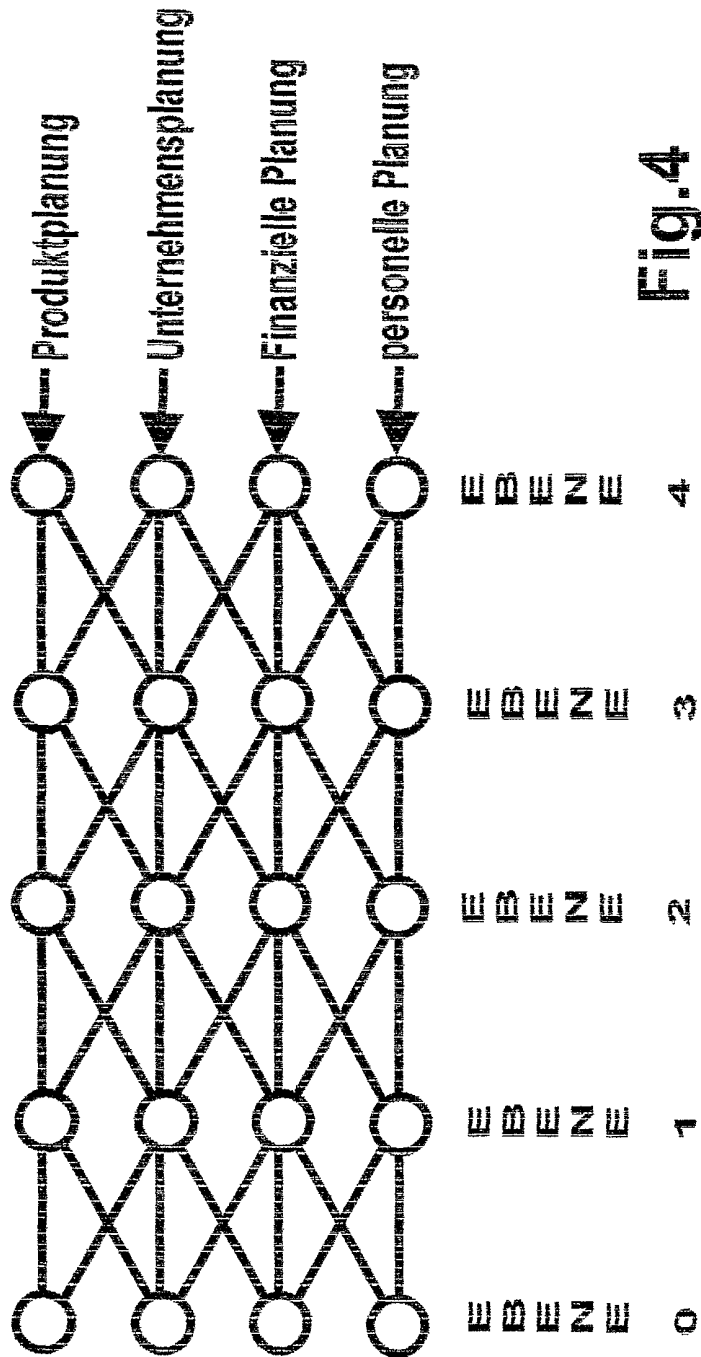


Fig.4

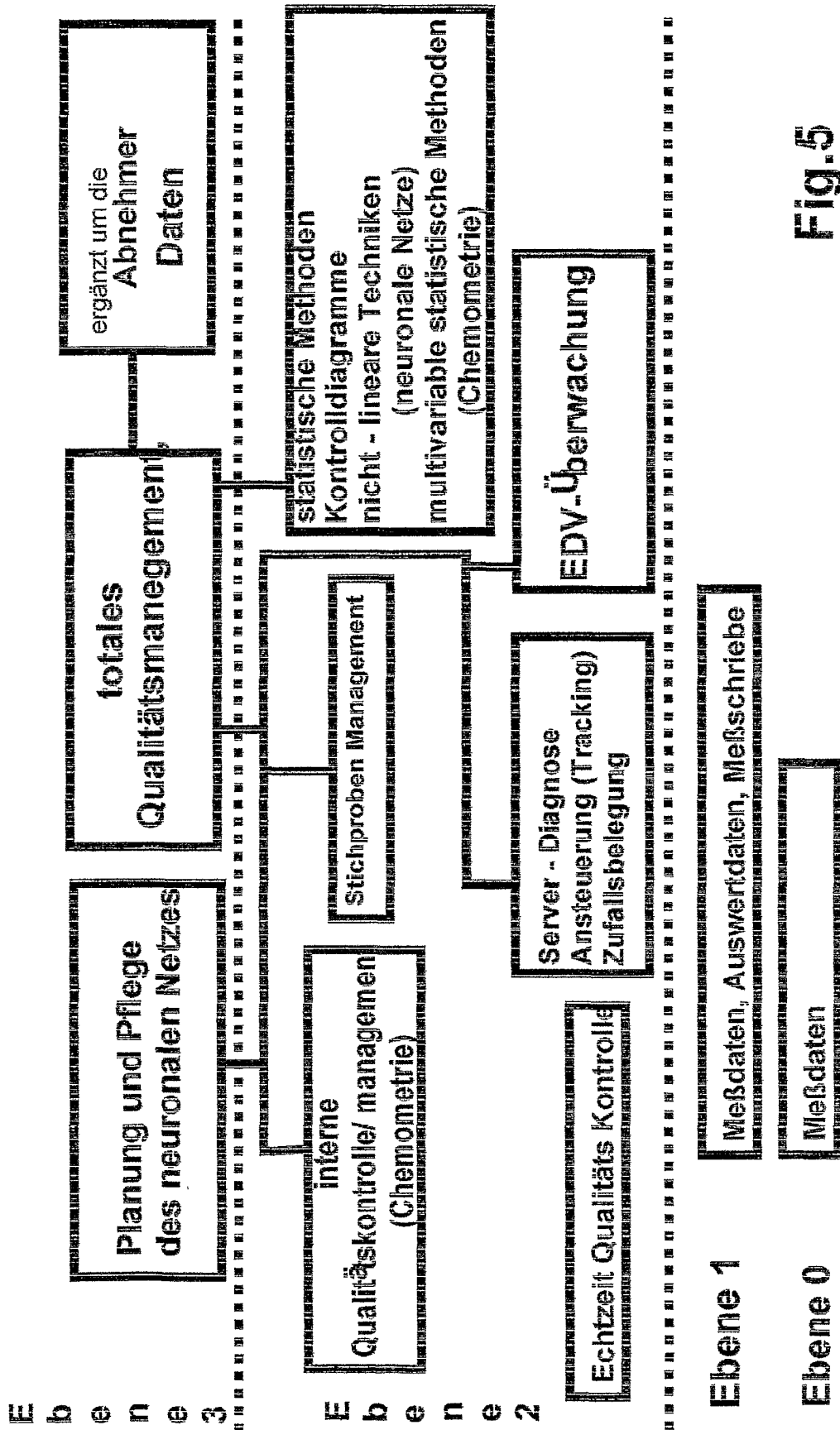


Fig.5

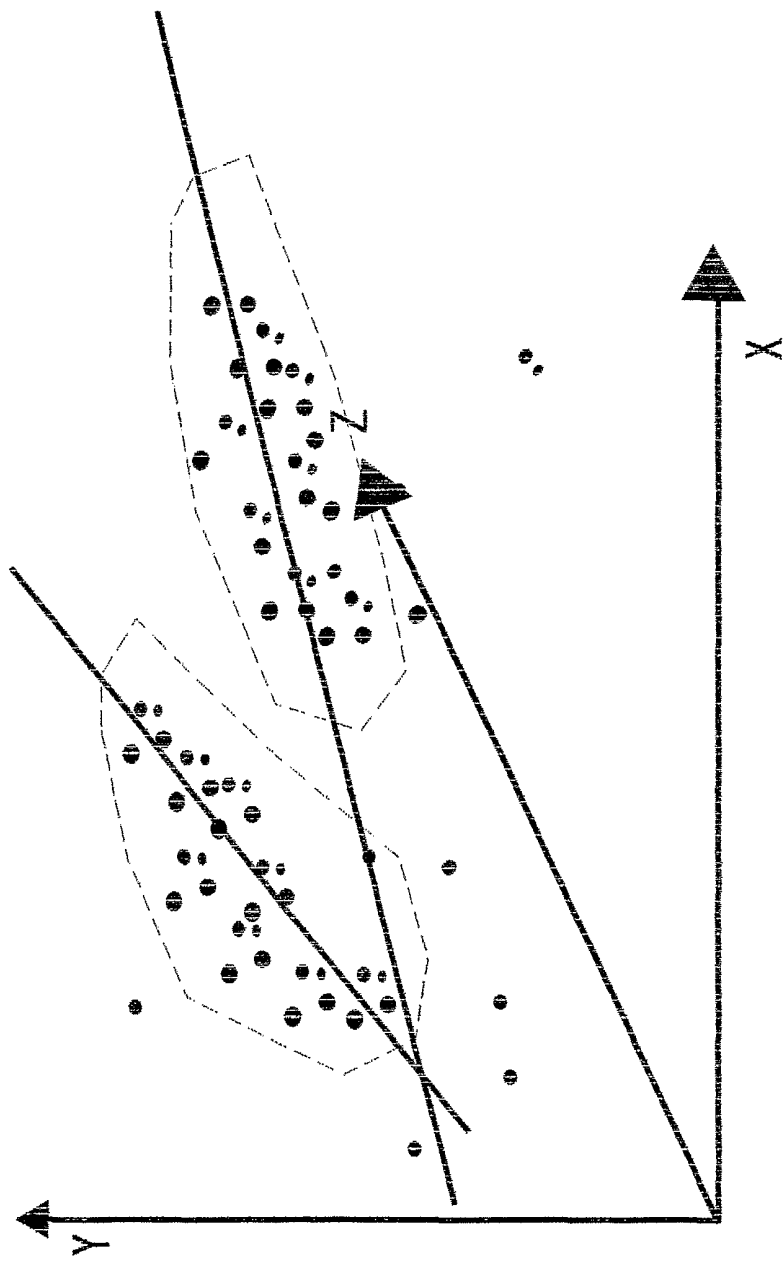


Fig.6

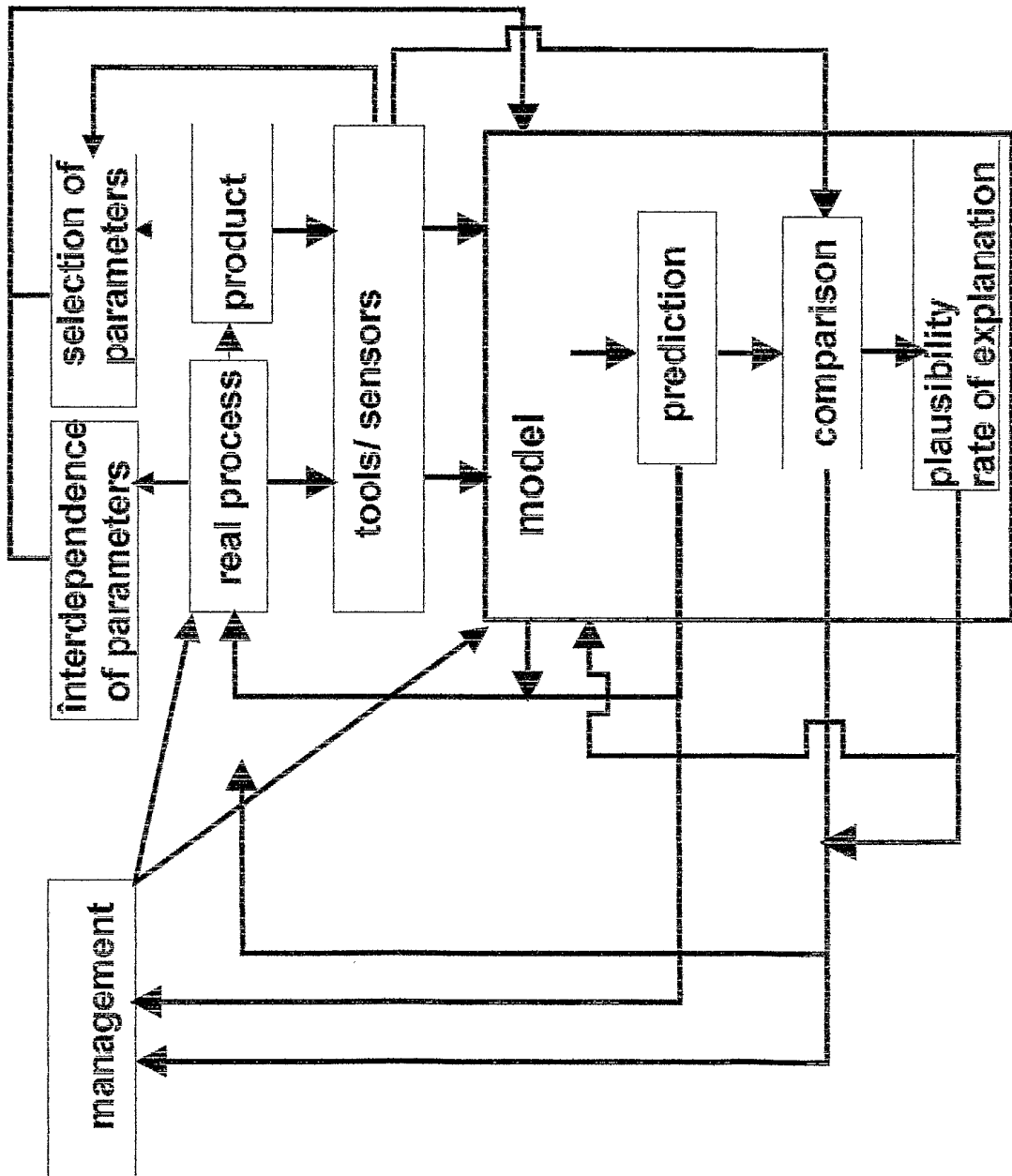


Fig.7

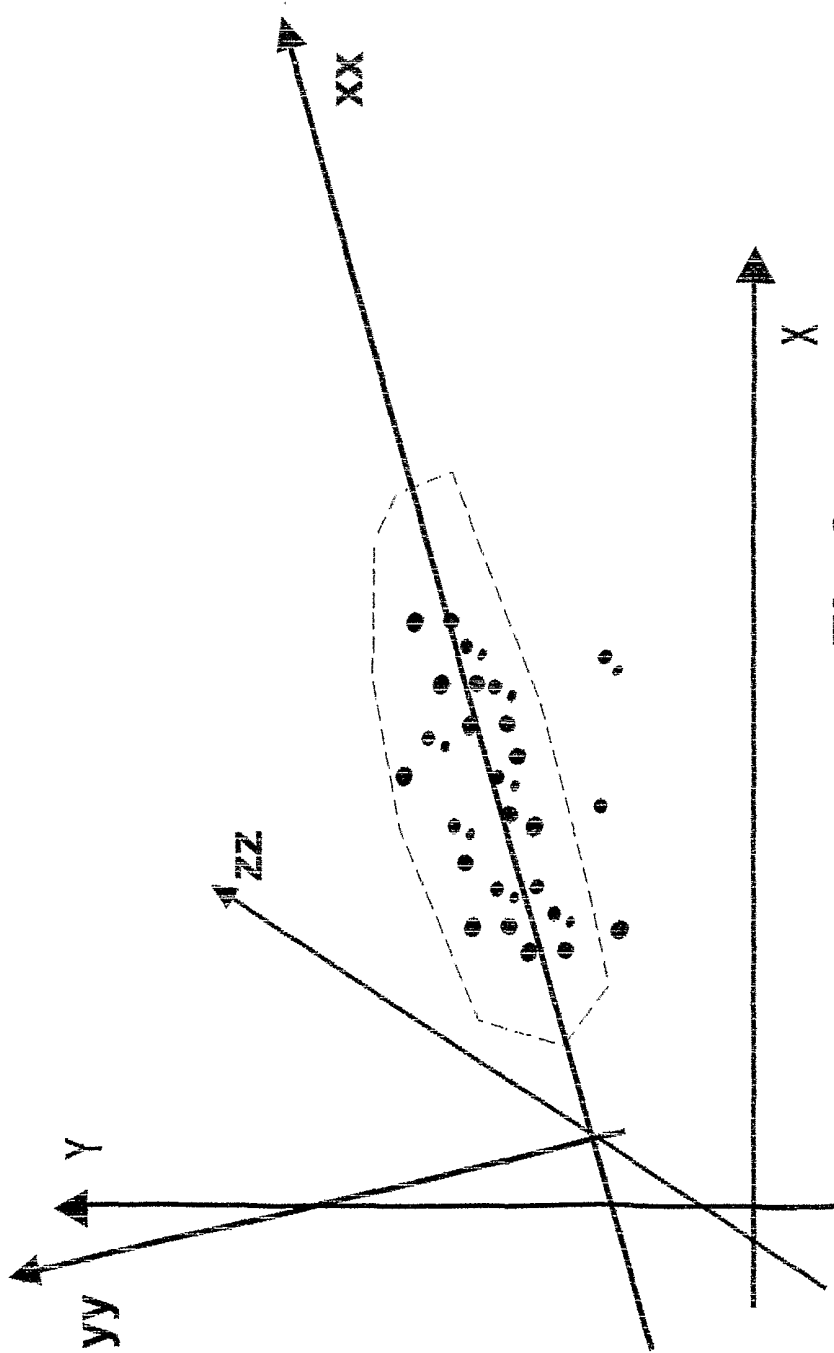


Fig.8