



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

67 EP 0 741 858 B 1

10 DE 695 04 036 T 2

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 D 18/00  
G 01 D 3/02  
G 01 D 3/028

- 21 Deutsches Aktenzeichen: 695 04 036.7
- 66 PCT-Aktenzeichen: PCT/US95/00835
- 66 Europäisches Aktenzeichen: 95 908 616.6
- 67 PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 95/20141
- 66 PCT-Anmeldetag: 17. 1. 95
- 67 Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: 27. 7. 95
- 67 Erstveröffentlichung durch das EPA: 13. 11. 96
- 67 Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: 12. 8. 98
- 47 Veröffentlichungstag im Patentblatt: 15. 4. 99

DE 695 04 036 T 2

- 30 Unionspriorität:  
186288                      25. 01. 94    US
- 73 Patentinhaber:  
Rosemount Inc., Eden Prairie, Minn., US
- 74 Vertreter:  
Patentanwälte Splanemann Reitzner Baronetzky,  
80331 München
- 84 Benannte Vertragsstaaten:  
DE, FR, GB

- 72 Erfinder:  
WARRIOR, Jogesh, Chanhassen, MN 55317, US;  
BRIGHAM, Scott, E., St. Paul, MN 55105, US; LENZ,  
Gary, A., Eden Prairie, MN 55346, US

64 WANDLER MIT VERBESSERTER KOMPENSATION

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

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

DE 695 04 036 T 2

0741858

12.11.99

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Technik zum Kompen-  
sieren einer erfaßten Variablen, wobei die Variable eine  
5 Position in einer Prozeßautomatisierungsanwendung oder ei-  
nige andere physikalische Variablen, z.B. den Druck, die  
Temperatur, den pH-Wert, die optische Intensität, in einer  
industriellen Prozeßsteueranwendung wiedergeben kann. Ge-  
nauer betrifft die Erfindung Vorrichtungen, z.B. Meßwertge-  
10 ber, Stellglieder und Positionierer, die eine erfaßte Va-  
riable kompensieren, um ein Ausgangssignal bereitzustellen,  
das die Variable wiedergibt.

Es besteht ein Bedürfnis danach, die Genauigkeit zu verbes-  
15 sern, mit der Meßwertgeber und Vorrichtungen mit ausgelö-  
sten Ausgangssignalen, z.B. ein Positionierer, Ausgangs-  
signale kompensieren, die Prozeßvariablen wiedergeben. Meß-  
wertgeber erfassen Prozeßvariablen, z.B. den Druck, die  
Temperatur, den Fluß, den pH-Wert, die Position, den Ver-  
20 satz, die Geschwindigkeit und ähnliches, in einer Prozeß-  
steuerung oder Prozeßautomatisierungseinrichtung. Meßwert-  
geber oder Aufnehmer haben Analog/Digital(A/D)-Wandler zum  
Digitalisieren von Sensorausgangssignalen, die eine erfaßte  
Prozeßvariable wiedergeben, und einen Kompensationsschalt-  
25 kreis zum Kompensieren der wiederholbaren Fehler in den di-  
gitalisierten Prozeßvariable-Ausgangssignalen. Die Tempera-  
tur ist eine der Hauptquellen für den Fehler. Der Kompensa-  
tionsschaltkreis umfaßt typischerweise einen Mikroprozes-  
sor, der das kompensierte Prozeßvariable-Ausgangssignal mit  
30 langen Polynomfunktionen berechnet, die derart ausgewählt  
sind, daß sie an die Fehlereigenschaften des Sensors über  
einen Druckmeßbereich angepaßt sind. Konstanten in der lan-  
gen Polynomfunktion werden einzeln für jeden Sensor ausge-

wählt. Während der Herstellung erzeugt das einzelne Testen jedes Sensors einen Satz von Eigenschaftskonstanten, die sich auf die Sensorfehler beziehen und die später in einem Meßwertgeber-EEPROM gespeichert werden. Unter Verwendung dieses Kompensationsverfahrens werden Prozeßvariablen typischerweise auf eine Genauigkeit von 0,05% über den Meßbereich der primären Prozeßvariable berichtigt, die der Wertgeber mißt. Zum Beispiel haben bekannte Druckmeßwertgeber einen Meßbereich von 0 bis 3810 mm (150 Zoll) von Wasser bzw. der Wassersäule, was berichtigte Drücke innerhalb von 0,05% Genauigkeit bereitstellt. Begrenzte elektrische Energie und begrenzte Zeit für die Berechnung des Ausgangssignals erschweren es, eine komplexere Berechnung zu vervollständigen, die für die Verbesserung der Genauigkeit erforderlich ist.

Fehler in der Betriebseigenschaft des Sensors können komplexer sein und können manchmal eine nicht-lineare Funktion vieler Variablen sein. Die primäre Variable (die Variable, die kompensiert wird) trägt direkt zu dem Fehler bei, während sekundäre Prozeßvariablen (die die Messung der primären Prozeßvariablen beeinflussen) indirekt in den Fehler eingehen. Da das Bedürfnis nach Genauigkeit zunimmt, werden die Beiträge der sekundären Variablen immer wichtiger. Gegenwärtige Lösungen lösen dieses Dilemma mit Polynomen höherer Ordnung mit vielzähligen Prozeßvariablen, aber die resultierende Gleichung ist arithmetisch schlecht konditioniert und empfindlich für die Art und Weise, in der das Polynom berechnet wird, da Überläufe bzw. Overflows auftreten können. Eine Meßwertgeber-Kompensationsgleichung ist ein Polynom elfter Ordnung mit ungefähr 100 Termen mit drei Variablen, das immer berechnet werden muß, wenn der Meßwertgeber eine Prozeßvariable ausgibt. Das Erzeugen von Eigen-

schaftskonstanten für diese Polynome höherer Ordnung ist teuer und zeitaufwendig. Weiterhin kann diese Lösung nicht optimal das tatsächliche Verhalten der nicht-linearen Prozeßvariablen beschreiben, die sich gegenseitig nicht-linear beeinflussen.

5

Zusätzlich zu den Problemen der Software-Komplexität und Berechnungs-Komplexität ist der Energieverbrauch für Meßwertgeber kritisch, die ihre gesamte Betriebsenergie oder Spannungsversorgung über die gleichen Leitungen erhalten, die für die Kommunikation verwendet werden. Weiterhin begrenzen einige "eigensichere" Gebiete, wo Meßwertgeber eingerichtet sind, die für den Meßwertgeber verfügbare Energie. Das begrenzte Stromaufkommen begrenzt nicht nur die Anzahl und die Komplexität der Berechnungen, sondern betrifft auch die Funktionalität, die in dem Meßwertgeber eingebaut werden kann. Z.B. könnten A/D-Wandler digitalisierte Sensorausgangssignale schneller wandeln, wenn mehr Energie verfügbar wäre, wodurch die Aktualisierungsgeschwindigkeit des Meßwertgebers erhöht werden könnte. Ein EEPROM, der groß genug ist, alle Eigenschaftskonstanten unterzubringen, verbraucht auch Energie, die ansonsten eine zusätzliche Funktionalität ermöglichen würde.

10

15

20

25

30

Es gibt deshalb ein Bedürfnis nach einem genauen Verfahren zum Kompensieren von Prozeßvariablen, das berechnungsmäßig einfach ist und eine geringe Anzahl von gespeicherten Eigenschaftskonstanten erfordert, so daß eine verminderte Energiemenge verbraucht wird und eine erhöhte Energie für zusätzliche Funktionalität und erhöhte Aktualisierungsgeschwindigkeiten bzw. Raten des Meßwertgebers bereitstehen.

In einer Ausführungsform hat ein Meßwertgeber einen Sensor zum Erfassen einer Prozeßvariablen (PV), z.B. den Druck, und eine Digitalisierungseinrichtung zum Digitalisieren eines Ausgangssignals, das die erfaßte PV wiedergibt. Der Sensor erfaßt die PV innerhalb eines Meßbereichs der PV-Werte. Ein Speicher innerhalb des Meßwertgebers speichert zumindest zwei Mitgliedsfunktionen, wobei jede Mitgliedsfunktion einen Nicht-Null-Wert über einen vorher festgelegten Bereich des PV-Meßbereichs und einen im wesentlichen Null-Wert über den restlichen Meßbereich hat. Der Speicher speichert auch einen Satz von Kompensationsformeln, wobei jede Formel einer Mitgliedsfunktion entspricht. Ein Auswahl Schaltkreis in dem Meßwertgeber wählt jene Mitgliedsfunktionen aus, die eine Nicht-Null-Ordinate bei dem Wert der digitalisierten PV haben, und ein Berichtigungsschaltkreis stellt zumindest einen Berichtigungswert bereit, wobei jeder Berichtigungswert mittels einer Kompensationsformel entsprechend einer ausgewählten Mitgliedsfunktion berechnet wird. Ein Gewichtungsschaltkreis gewichtet jeden Berichtigungswert durch die Ordinate der entsprechenden ausgewählten Mitgliedsfunktion und multipliziert die Multiplikatoren, um eine kompensierte PV zu erzeugen. Die kompensierte PV wird zu einem Steuerschaltkreis geleitet, der den Meßwertgeber mit einem Steuersystem verbindet.

Eine zweite Ausführungsform enthält einen Sensor zum Erfassen einer primären PV, z.B. dem Differenzdruck, und weitere Sensoren zum Erfassen sekundärer PVs, z.B. des Leitungsdrucks und der Temperatur. Ein Satz von Wandlern digitalisiert die erfaßten PVs. Jeder der Variablen ist zumindest eine Mitgliedsfunktion zugeordnet, wobei zumindest einer der Variablen zumindest zwei eindimensionale Mitgliedsfunk-

tionen zugeordnet sind. Die Mitgliedsfunktionen, die eine im wesentlichen Nicht-Null-Ordinate bei den digitalisierten PV-Werten haben, werden ausgewählt und Kompensationsformeln, die den ausgewählten Mitgliedsfunktionen entsprechen, werden aus einem Speicher geholt. Ein FAND-Schaltkreis bildet alle einzigartigen Drei-Element-Kombinationen der Ordinaten und erzeugt die "Regel-Stärke" oder das Minimum jeder der Kombinationen. Eine Gewichtung-Schaltkreis-Funktion arbeitet im wesentlichen in der gleichen Art und Weise, wie vorstehend beschrieben wurde, um eine kompensierte, primäre PV zu erzeugen, die formatiert wird und einem Zweileitungsschaltkreis zugeführt wird.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

- 15 FIG. 1 ist eine Ansicht eines im Einsatzgebiet angeordneten Meßwertgebers, der in einer Prozeßsteuerungsinstallation gezeigt ist;
- 20 FIG. 2 ist ein Blockdiagramm eines Wertgebers, der gemäß der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist;
- 25 FIG. 3A - C sind Kurvenverläufe der drei Mitgliedsfunktionen A bis C und die Figur 3D ist ein Kurvenverlauf aller drei Mitgliedsfunktionen A bis C, wobei alle als eine Funktion des unkompensierten normalisierten Drucks gezeigt sind;
- 30 FIG. 4 ist ein Flußdiagramm eines Kompensations-Schaltkreises 58 der Figur 2;
- FIG. 5 ist ein Blockdiagramm eines Kompensations-Schaltkreises 58 mit einer alternativen Ausführungsform

der Mitgliedsfunktion-Auswahlschaltung 64;

FIG. 6 ist ein Kurvenverlauf einer mehrdimensionalen Mitgliedsfunktion;

5

FIG. 7 ist ein Kurvenverlauf des Fehlers als eine Funktion des Drucks für zwei Differenzdrucksensoren A und B.

TABELLE 1 zeigt Konstanten  $K_1$  bis  $K_{10}$  für jeden der drei Bereiche.

10

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

In der Figur 1 sendet ein Druckwertgeber, der allgemein mit 2 gezeigt ist, ein Ausgangssignal, das den Druck wiedergibt, zu einem digitalen Steuersignalsystem (DCS) 4 über eine Zweileitungs-Stromschleife, die allgemein mit 6 gezeigt ist. Ein Fluid 8 in einem Tank 10 fließt durch ein Rohr 12 in eine Serie von weiteren Rohren 14, 16 und 18 hinein, die alle das Fluid 8 enthalten. Der Meßwertgeber 2 erfaßt die Druckdifferenz entlang einer Meßblende 20, die sich in der Strömung des Fluids 8 befindet. Die Druckdifferenz gibt die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids 8 in dem Rohr 12 wieder. Ein Ventil 22, das stromabwärts vom Meßwertgeber 2 angeordnet ist, steuert die Strömung im Rohr 12 als eine Funktion von Befehlen, die von der DCS-Einheit 4 über eine weitere Zweileitungs-Schleife 24 empfangen werden. Die DCS-Einheit 4 ist typischerweise in einem Steuer-  
raum entfernt von der Einsatzgebiet-Installation der Prozeßsteuerung und in einem explosions sicheren und eigensicheren Gebiet angeordnet, wohingegen der Meßwertgeber 2 und das Ventil 22 direkt an dem Rohr 12 im Einsatzgebiet angebracht sind.

In der Figur 2 ist der Meßwertgeber 2 mit zwei Anschlüssen 50, 52 gezeigt, die mit zwei Anschlüssen der DCS 4 über ein verdrilltes Leitungspaar 6 koppelbar sind. Die DCS 4 ist als ein Widerstand und eine Energieversorgung bzw. Spannungsversorgung in Serie modellhaft dargestellt und ist allgemein mit 4 gezeigt. Der Meßwertgeber 2 hat einen Sensorabschnitt 54, der einen Differenzdrucksensor 54A, der auf einer Kapazität beruht, einen Absolutdrucksensor 54B und einen Temperatursensor 54C enthält. Der Meßwertgeber 2 umfaßt die Differenzdrücke zwischen 0 und 6350 mm (250 Zoll) Wassersäule. Die Typen der Prozeßvariablen, die der Meßwertgeber 2 mißt, können jedoch Prozeßvariablen enthalten, die eine Position, den volumetrischen Fluß, den Massefluß, die Temperatur, den Pegel, die Dichte, den Versatz, den pH-Wert, die Trübheit, den gelösten Sauerstoff und die Ionenkonzentration wiedergeben. Ein analoges Ausgangssignal von den Sensoren 54A bis C wird zu dem Wandler Schaltkreis 56 geleitet, der auf Spannung oder Kapazität basierende Analog/Digital(A/D)-Wandler enthält, die von dem Typ sein können, der in den US-Patenten 4,878,012, 5,083,091, 5,119,033 und 5,155,455 offenbart ist, die dem gleichen Anmelder wie die vorliegende Erfindung gehören. Jeder der Wandler 56A bis C erzeugt einen seriellen Bitstrom von 10 bis 16 Bit, die die entsprechende digitalisierte Prozeßvariable (PV) wiedergeben, auf einem Bus, der mit dem Kompensationsschaltkreis 58 verbunden ist.

Der Kompensationsschaltkreis 58 verwendet Fuzzy-Logik, um ein Ausgangssignal zu erzeugen, das eine kompensierte PV wiedergibt, und umfaßt typischerweise einen Mikroprozessor, z.B. einen Motorola 68HC05 mit integriertem Speicher. Der Schaltkreis 58 kompensiert die Fehler in dem digitalisier-



ten Signal, das den Differenzdruck wiedergibt, mit den digitalisierten Signalen, die den Absolutdruck, die Temperatur und den Differenzdruck wiedergeben. Der Kompensations-  
schaltkreis 58 basiert auf der Voraussetzung, daß die Kom-  
5 pensation am genauesten nachgebildet wird, indem die Variablen, die kompensiert werden sollen, in vielzählige Bereiche unterteilt werden, die sich gegenseitig überlappen, wobei jedem Bereich eine vereinfachte Kompensationsformel,  
10 die für den Bereich optimiert ist, und eine Mitgliedsfunktion zugewiesen ist, die mehrdimensional sein kann. Die "Stärke" der Formel in dem Bereich ist über den Bereich variabel und ist durch die Ordinate der Mitgliedsfunktion bei dem Wert der zu kompensierenden Variablen beschrieben. Die Ordinate der Mitgliedsfunktion ist typischerweise eine Zahl  
15 zwischen 0 und 100% und gibt das Ausmaß an, für das der Wert der zu kompensierenden Variablen durch die Kompensationsformel nachgebildet werden kann, die dem ausgewählten Bereich zugewiesen ist. Die Kompensation wird bestimmt, indem zuerst die Bereiche ausgewählt werden, die den Wert der  
20 zu kompensierenden Variable enthalten, und indem die Mitgliedsfunktionen und Kompensationsformeln, die jedem ausgewählten Bereich entsprechen, ausgewählt werden. Der nächste Schritt besteht darin, einen Satz von Berichtigungswerten durch Berechnung jeder der Kompensationsformeln bei dem  
25 Wert der zu kompensierenden Variablen und durch Bestimmen der Stärke jedes Berichtigungswertes aus der entsprechenden Mitgliedsfunktion zu erzeugen. Schließlich wird ein Kompensationswert erzeugt, indem die Berichtigungswerte, die durch die Stärke der Mitgliedsfunktion bei dem Wert der zu  
30 kompensierenden Variablen gewichtet werden, kombiniert bzw. verknüpft werden.

Eine Mitgliedsfunktion-Auswahlschaltung 64 wählt aus, welche Mitgliedsfunktion nicht-null bei dem digitalisierten P-, T-, L-Wert ist, und gibt Signale, die für die ausgewählten Mitgliedsfunktionen repräsentativ sind, auf den Bus 64B aus. Die Schaltung 64 gibt auch Ordinaten der ausgewählten Mitgliedsfunktionen bei den digitalisierten P, T, L-Werten (die "Regel-Stärken") auf den Bus 64A aus. Als allgemeine Regel enthält der Kompensationsschaltkreis 58 zumindest zwei eindimensionale Mitgliedsfunktionen für den Differenzdruck, die sich gegenseitig überlappen. Wenn mehr als eine Variable für die Kompensation verwendet werden, müssen zumindest zwei Mitgliedsfunktionen für eine der Variablen vorhanden sein. Die Figuren 3A bis C zeigen Differenzdruck-Mitgliedsfunktionen A, B und C, von denen jede einen Nicht-Null-Wert über einen unterschiedlichen vorgegebenen Bereich der unkompensierten Drücke innerhalb des Meßbereichs hat. Die zu kompensierende Variable (Differenzdruck) wird durch alle drei Variablen (P, T und L) kompensiert, aber nur P werden Mitgliedsfunktionen zugewiesen. (Im allgemeinsten Fall werden jeder Variablen vielzählige Mitgliedsfunktionen zugewiesen.) Die Mitgliedsfunktion A, die als durchgezogene Linie in der Figur 3A gezeigt ist, hat einen Nicht-Null-Wert zwischen 0 und 50% Meßbereich und einen Null-Wert danach. Die Mitgliedsfunktion B, die als gestrichelte Linie in der Figur 3B gezeigt ist, hat einen Nicht-Null-Wert zwischen 0 und 100% Meßbereich und ansonsten einen Null-Wert. Die Mitgliedsfunktion C, die als durchgezogene Linie in der Figur 3C gezeigt ist, hat einen Nicht-Null-Wert zwischen 50 und 100% Meßbereich und ansonsten einen Null-Wert. Die Figur 3D zeigt Mitgliedsfunktionen A, B und C, die als Funktion eines normalisierten Druckmeßbereichs gezeigt sind. Die Nicht-Null-Abschnitte der Mitgliedsfunktionen A, B und C definieren Bereiche 1, 2 bzw. 3. Die Form der Gleichungen

muß nicht die gleiche für jeden der Bereiche sein. Die bevorzugte Form der Kompensationsformel für die Bereiche 1 bis 3, um die erforderliche Genauigkeit mit dem Metallzelle-DP-Sensor einzuhalten, ist durch die Gleichung 1 gegeben, die einen Term zweiter Ordnung als ihren höchsten Term hat und nicht mehr als zehn Eigenschaftskonstanten benötigt.

$$P_{\text{berichtigt}}(P, T, L) = K_1 + K_2P + K_3T + K_4L + K_5P^2 + K_6T^2 + K_7L^2 + K_8PL + K_9TP + K_{10}LT \quad (1)$$

10

Eine Kompensationsformel-Auswerteschaltung 66 ermittelt und erzeugt einen Berichtigungswert für jede der Kompensationsformeln, die den ausgewählten Mitgliedsfunktionen entsprechen. Der Satz der Eigenschaftskonstanten für jeden Bereich 1 bis 3 ist in dem Speicher 68 gespeichert und untenstehend in der TABELLE 1 angegeben.

15

	BEREICH 1	BEREICH 2	BEREICH 3
K <sub>1</sub>	-2.5152	-3.4206	-7.1604
K <sub>2</sub>	278.5154	283.4241	293.4994
K <sub>3</sub>	-4.1357	-2.3884	-0.3094
K <sub>4</sub>	2.4908	2.5038	2.7488
K <sub>5</sub>	-3.4611	-10.5786	-17.4490
K <sub>6</sub>	-4.1901	-5.6594	-6.9354
K <sub>7</sub>	-0.1319	-0.1589	-0.2082
K <sub>8</sub>	11.9573	11.8335	11.4431
K <sub>9</sub>	-9.3189	-10.3664	-11.5712
K <sub>10</sub>	1.1318	1.2281	1.3502

Der Speicher 68 ist ein nicht-flüchtiger Speicher, der Mitgliedsfunktionen, Kompensationsformeln und Eigenschaftskonstanten für die Kompensationsformeln enthält. Die Verknüpfungsfunktion-Schaltung 70 empfängt die Berichtigungswerte und die Regel-Stärken und erzeugt eine kompensierte P-Prozeßvariable gemäß der Gleichung, die gegeben ist durch:

$$P_{comp} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i f_i(P, T, L)}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (2)$$

10

Wobei N die Anzahl der ausgewählten Bereiche,  $w_i$  die Regelstärke für den i-ten Bereich,  $f_i(P, T, L)$  der Berichtigungswert aus der Kompensationsformel ist, die dem i-ten Bereich entspricht, und  $P_{comp}$  den kompensierten Differenzdruck wiedergibt.

15

Die Ausgangsschaltung 62 empfängt und formatiert die kompensierte Differenz-PV und leitet sie den Anschlüssen 50, 52 für die Übertragung über die Prozeß-Steuerschleife 6 zu.

20

Die Ausgangsschaltung 62 kann in verschiedenen Art und Weisen realisiert werden. Eine erste Alternative besteht in einer Digital/Analog-Schaltung, wobei die kompensierte PV in einen analogen Strom umgewandelt wird, der die kompensierte PV wiedergibt, und danach auf die Stromschleife 6 ausgegeben wird. Eine zweite Alternative besteht in einer volldigitalen Übertragung, z.B. einem Feldbus, der kompensierten PV auf der Schleife 6. Eine dritte Implementation überlagert ein digitales Signal, das für die PV repräsentativ ist, einem analogen Strom, der auch die PV wiedergibt, z.B. in dem HART® Protokoll.

25

30

Die Anzahl und die funktionelle Form der Mitgliedsfunktionen werden durch die erforderliche Kompensationsgenauigkeit

(z.B. 0,05% Genauigkeit) und die Betriebseigenschaften des Sensors bestimmt. Z.B. benötigt ein Sensor mit einem signifikanten Fehlerwert, der kompensiert werden muß, mehr Mitgliedsfunktionen als ein Sensor, der im wesentlichen den geforderten Genauigkeitswert einhält. Die Mitgliedsfunktionen für den Sensor, der eine stärkere Kompensation benötigt, können jeweils unterschiedliche Funktionsformen haben (z.B. exponentiell, Gaussform, Polynomform, konstant, kubische Spline, Gaussform und logarithmisch).

10

Man betrachte einen Druck von ungefähr 30% des Meßbereichs, was einem angelegten Druck von 1905 mm (75,0 Zoll) der Wassersäule entspricht, der in der Figur 3D durch eine durchgezogene vertikale Linie angegeben ist und in den Nicht-Null-Abschnitten der Mitgliedsfunktionen A und B enthalten ist. Die Mitgliedsfunktionen A und B, entsprechend den Bereichen 1 und 2, sind die "ausgewählten Mitgliedsfunktionen". Die Werte der zwei Mitgliedsfunktionen bei 30% des Meßbereichs sind 0,359 bzw. 0,641. Die Kompensationsformeln für den Bereich 1 und 2 sind durch die Gleichungen 3 bzw. 5 gegeben:

15

20

25

$$f_{P_1}(P, T, L) = -2,512 + 278,5154P - 4,137T + 2,4908L - 3,4611P^2 - 4,1901T^2 - 0,1319L ** 2 + 11,9573PL - 9,3189TP + 1,1318LT \quad (3)$$

$$f_{P_2}(P, T, L) = -3,4206 + 283,4241P - 2,3884T + 2,5038L - 10,5786P^2 - 5,694T ** 2 - 0,1589L ** 2 + 11,8335PL - 10,3664TP + 1,2281LT$$

(5)

30

Die Berichtigungswerte aus den Gleichungen 3 und 5 sind 1910 bzw. 1907 mm (75,188 bzw. 75,070 Zoll) der Wassersäule. Der kompensierte Druck wird durch eine Verknüpfungs-

funktion erzeugt, die durch die Gleichung 2 oben gegeben ist, und beträgt 1908 mm (75,112 Zoll) der Wassersäule, vereinfacht aus:

$$P_{\text{comp}} = \frac{0,359 (75,188) + 0,641 (75,070)}{0,359 + 0,641} \quad (7)$$

Die T- und L-Werte, die in die oben stehende Gleichung eingesetzt werden, entsprechen der Raumtemperatur und dem atmosphärischen Leitungsdruck.

Hier wird kein einzelnes Polynom elfter Ordnung wie im Stand der Technik ausgeführt, sondern es werden nur zwei Polynome zweiter Ordnung berechnet. Der sich ergebende Berichtigungswert aus der Funktion zweiter Ordnung ist bezüglich der Art und Weise, mit der die Berechnungen ausgeführt werden (z.B. keine Überläufe), unempfindlich, benötigt weniger Rechenzeit, verwendet weniger Eigenschaftskonstanten und erzeugt einen größeren Raum im Speicher für zusätzliche Software-Funktionalität im Meßwertgeber 2. Ein weiterer Vorteil der Fuzzy-Logik-Implementation des Kompensations-schaltkreises 58 besteht darin, daß der Effekt der nicht-linearen Wechselwirkung zwischen den Variablen berücksichtigt wird, der in dem Kompensationsverfahren mit einem einzigen Polynom des Stands der Technik schwierig nachzubilden ist. Die Typen der Variablen, die für die Verwendung in dem offenbarten Kompensationsverfahren ausgelegt sind, sind nicht auf erfaßte PVs begrenzt. Die Variable kann eine zeitabhängige Variable, z.B. die erste oder zweite Ableitung oder das Integral der Variablen sein. In diesem Fall würde die entsprechende Mitgliedsfunktion dafür ausgelegt sein, eine minimale Kompensation zu erzeugen, wenn die Ableitung groß ist (d.h., die Größe der Kompensation ist un-

wichtig verglichen mit der Größe der Druckänderung, so daß es angemessen ist, die primäre PV ungefähr zu kompensieren). Eine Linienführung mit optimalem Wert durch einen Positionierer oder ein Stellglied, z.B. in einer Aufnahme- und Setzmaschine, erfordert eine erfaßte Position und kann eine Geschwindigkeit und eine Beschleunigung enthalten. Ein weiterer Typ der Variablen ist eine "vergangenheitsabhängige" Variable, bei der Hysterese-Effekte berücksichtigt werden müssen. Verganhenheitsabhängige PVs enthalten Informationen über vorhergehende Messungen, die mit dem speziellen Sensor in dem Meßwertgeber 2 aufgenommen wurden. Z.B. modifiziert eine extreme Überdruckbeaufschlagung eines Drucksensors auf kapazitiver Basis seine Kapazität als eine Funktion des Drucks bei nachfolgenden Messungen. Unterschiedliche Kompensationsformeln sind in Abhängigkeit von der Stärke und der Frequenz der Überdruckbeaufschlagung anzuwenden. Ein weiterer Typ der Variablen ist eine "positionsabhängige" Variable, wobei sich der Wert der Variablen mit der Position ändert, z.B. in einer Membran, die eine Steifigkeit hat, wenn sie gebogen wird, und eine andere Steifigkeit bei Fehlen des angelegten Drucks hat. Ein weiterer Typ der Variablen ist eine "vorrichtungabhängige" Variable, bei der sich die Mitgliedsfunktionen und Kompensationsformeln mit den Materialien, die für die Herstellung des Meßwertgebers 2 verwendet werden, ändern. Z.B. hat ein Sensor, der den Druck innerhalb eines niedrigen Druckbereiches erfaßt, Kompensationserfordernisse, die unterschiedlich zu jenen eines Drucksensors in einem hohen Bereich sind. Ein Drucksensor mit einer Membran, die aus HASTELLOY® gefertigt ist, hat ähnlich unterschiedliche Fehlereigenschaften und benötigt deshalb unterschiedliche Kompensationen verglichen mit einer Membran, die aus MONEL® gefertigt ist.

Die vorliegende Erfindung behebt Ungenauigkeiten der Kom-  
pensationstechnik des Stands der Technik, die als stückwei-  
ses lineares Anpassen bezeichnet wird. Beim stückweisen li-  
5 nearen Anpassen ist der Meßbereich der betrachteten Varia-  
blen in zwei oder mehr Bereiche aufgeteilt und eine lineare  
Gleichung wird für jeden Bereich ausgewählt, die optimal zu  
jedem der Bereiche paßt. Unglücklicherweise gibt es typi-  
scherweise kleine Diskontinuitäten oder Fehlanpassungen an  
10 den Grenzen zwischen den getrennt kompensierten Bereichen.  
Das vorliegende Kompensationsverfahren mit den überlappen-  
den Mitgliedsfunktionen erzeugt einen glatten Übergang zwi-  
schen Bereichen der betrachteten Variable.

15 In der Figur 4 ist ein Flußdiagramm der Funktionen in dem  
Kompensationsschaltkreis 58 offenbart. Die Prozeßvariablen  
P, T, L werden erfaßt und in den Blöcken 200 bzw. 202 digi-  
talisiert. Ein Zähler zum Zählen der Anzahl der Bereiche  
wird im Block 204 initialisiert. Ein Entscheidungsblock 206  
20 holt die i-te Mitgliedsfunktion aus einem Speicherblock 208  
und bestimmt, ob der digitalisierte P-, T-, L-Wert in dem  
i-ten Bereich ist, der durch die i-te Mitgliedsfunktion be-  
schrieben wird. Wenn der digitalisierte Punkt bzw. Wert in  
dem Bereich enthalten ist, holt der Berechnungsblock 210  
25 geeignete Kompensationsformeln und Eigenschaftskonstanten  
aus dem Speicher 208, um den Ordinatewert einer Mitglieds-  
funktion  $f_{mi}(P, T, L)$  und einen Berichtigungswert  $f_{ci}(P, T, L)$   
computergestützt zu ermitteln, der aus der i-ten Kompensa-  
tionsformel berechnet wird, oder inkrementiert den Be-  
30 reichszähler i ansonsten. Der Entscheidungsblock 212 verur-  
sacht, daß die Schleife wieder ausgeführt wird, bis alle  
Bereiche, die den digitalisierten P, T, L-Punkt enthalten,



ausgewählt sind. Dann berechnet der Block 214 den kompensierten Differenzdruck wie angegeben.

5 Die Figur 5 zeigt im Detail eine alternative Ausführungsform der Mitgliedsfunktion-Auswahlschaltung 64. Genau wie in der Figur 2 empfängt der Fuzzy-Kompensationsschaltkreis 58 den digitalisierten Differenzdruck (P), den digitalisierten Absolutleitungsdruck (L) und die digitalisierte Temperatur (T) und verwendet diese drei Variablen, um einen  
10 kompensierten Differenzdruck zu erzeugen. Die Hauptfunktionsblöcke sind eine Regel-Stärke-Schaltung 302, eine Kompensationsformel-Auswerteschaltung 304 und eine Verknüpfungsschaltung 306. In dieser alternativen Ausführungsform sind jedoch allen der drei Variablen (P, T, L) vielzählige  
15 Mitgliedsfunktionen zugewiesen. Insbesondere sind dem Differenzdruck vier Mitgliedsfunktionen zugewiesen, die als  $f_{p1}$ ,  $f_{p2}$ ,  $f_{p3}$  und  $f_{p4}$  definiert sind. Der Temperatur sind drei Mitgliedsfunktionen zugewiesen, die als  $f_{t1}$ ,  $f_{t2}$  und  $f_{t3}$  definiert sind, und dem Absolutdruck sind zwei Mitgliedsfunktionen zugewiesen, die als  $f_{l1}$  und  $f_{l2}$  definiert sind.  
20 Der Schaltkreis 58 ist bevorzugt in einem CMOS-Mikroprozessor (mit angemessenem On-Chip-Speicher) implementiert, so daß Energie in dem Meßwertgeber eingespart wird, der Energie nur von der Stromschleife empfängt.

25

Die Schaltung 310 empfängt den digitalisierten P-Wert und wählt jene Mitgliedsfunktionen aus, die eine Nicht-Null-Ordinate bei dem digitalisierten P-Wert haben. Da die Nicht-Null-Abschnitte der Mitgliedsfunktionen sich überlappen können, gibt es für gewöhnlich mehr als eine ausgewählte Mitgliedsfunktion für jede digitalisierte PV. Wenn die Mitgliedsfunktionen sich gegenseitig um 50% überlappen, werden  $2^N$  Gleichungen berechnet, wobei N die Anzahl der Va-  
30

riablen ist, die in mehr als eine Mitgliedsfunktion aufgeteilt sind. Das Ausgangssignal der Schaltung 310 ist die Ordinate von jeder der ausgewählten Mitgliedsfunktionen entsprechend dem digitalisierten P-Wert und wird mit 310A bezeichnet. Z.B., wenn der digitalisierte P-Wert in dem Nicht-Null-Abschnitt von drei der vier P-Mitgliedsfunktionen enthalten ist, gibt die Schaltung 310 drei Werte aus, wobei jeder Wert eine Ordinate der drei ausgewählten Mitgliedsfunktionen entsprechend dem digitalisierten P-Wert ist. Genauer enthält der Bus 310A für  $P = P_0$  die Ordinaten:  $[f_{p2}(P_0), f_{p3}(P_0), f_{p4}(P_0)]$ . Zur ungefähr gleichen Zeit, damit eine effektive Gleichzeitigkeit vorliegt, empfängt die Schaltung 312 den digitalisierten P-Wert und wählt die Temperatur-Mitgliedsfunktionen aus, die einen Nicht-Null-Wert bei dem digitalisierten T-Wert haben. Wenn der digitalisierte T-Wert in dem Nicht-Null-Abschnitt von zweien der drei T-Mitgliedsfunktionen ist, dann gibt die Schaltung 312 zwei Werte auf den Bus 312A aus, wobei jeder der Werte eine Ordinate einer ausgewählten Mitgliedsfunktion ist. Genauer enthält der Bus 312A für  $T = t_0$  die Ordinaten:  $[f_{t2}(t_0), f_{t3}(t_0)]$ . Auf ähnliche Art und Weise empfängt die Schaltung 314 den digitalisierten L-Wert und selektiert die Absolutdruck-Mitgliedsfunktionen, die einen Nicht-Null-Wert bei dem L-Wert haben. Wenn der digitalisierte L-Wert in beiden der zwei L-Mitgliedsfunktionen enthalten ist, dann gibt die Schaltung 314 zwei Werte auf den Bus 314A aus, wobei jeder Wert eine Ordinate einer ausgewählten Mitgliedsfunktion ist. Genauer enthält der Bus 314A für  $L = l_0$  die Ordinaten:  $[f_{l1}(l_0), f_{l2}(l_0)]$ .

30

Die Fuzzy-UND-Schaltung 316 (FAND-Schaltung) bildet alle einzigartigen Drei-Element-Verknüpfungen der Ordinaten, die sie von den Schaltungen 310 bis 314 empfängt (wobei jede

Kombination einen Wert von jedem der drei Busse 310A, 312A und 314A enthält) und gibt das Fuzzy-UND (das Minimum) jeder der einzigartigen Verknüpfungen auf einen Bus 316A aus. Für den Satz aus P-, T- und L-Werten für das vorstehende Beispiel ist der Satz der einzigartigen Mitgliedsfunktion-Ordinate-Verknüpfungen gleich:

5

10

15

20

25

30

$$\begin{aligned} & [ f_{p2}(p_0) \quad f_{t2}(t_0) \quad f_{l1}(l_0) ] \\ & [ f_{p2}(p_0) \quad f_{t2}(t_0) \quad f_{l2}(l_0) ] \\ & [ f_{p2}(p_0) \quad f_{t3}(t_0) \quad f_{l1}(l_0) ] \\ & [ f_{p2}(p_0) \quad f_{t3}(t_0) \quad f_{l2}(l_0) ] \\ & [ f_{p3}(p_0) \quad f_{t2}(t_0) \quad f_{l1}(l_0) ] \\ & [ f_{p3}(p_0) \quad f_{t2}(t_0) \quad f_{l2}(l_0) ] \\ & [ f_{p3}(p_0) \quad f_{t3}(t_0) \quad f_{l1}(l_0) ] \\ & [ f_{p3}(p_0) \quad f_{t3}(t_0) \quad f_{l2}(l_0) ] \\ & [ f_{p4}(p_0) \quad f_{t2}(t_0) \quad f_{l1}(l_0) ] \\ & [ f_{p4}(p_0) \quad f_{t2}(t_0) \quad f_{l2}(l_0) ] \\ & [ f_{p4}(p_0) \quad f_{t3}(t_0) \quad f_{l1}(l_0) ] \\ & [ f_{p4}(p_0) \quad f_{t3}(t_0) \quad f_{l2}(l_0) ] \end{aligned}$$

Der Effekt der Fuzzy-UND-Schaltung 316 besteht darin, einzelvariable Mitgliedsfunktionen für P, T und L zu nehmen und multivariable Mitgliedsfunktionen im P-T-L-Raum zu erzeugen. Obwohl es nicht graphisch darstellbar ist, erzeugt die Schaltung 316 im P-T-L-Raum einen Satz von 24 Mitgliedsfunktionen mit drei Variablen aus den vier P, den drei T und den zwei L eindimensionalen Mitgliedsfunktionen. Es gibt 24 Kompensationsformeln entsprechend den 24 Mitgliedsfunktionen. Im allgemeinen ist die Anzahl der erzeugten multivariablen Mitgliedsfunktionen gleich dem Produkt aus der Anzahl der Mitgliedsfunktionen, die für jede einzelne Variable definiert sind. Die Figur 6 gibt ein Beispiel für eine multivariable Mitgliedsfunktion mit zwei Variablen P und T an. Zwölf überlappende fünfflächig geformte

Mitgliedsfunktionen mit zwei Variablen sind in dem P-T-Raum aus vier dreieckig geformten P-Mitgliedsfunktionen und drei dreieckig geformten T-Mitgliedsfunktionen gebildet. Jede multivariable Mitgliedsfunktion entspricht einer Kompensationsformel und die Ordinate der multivariablen Mitgliedsfunktion (der Ausgang des Fuzzy-UND) wird als "Regel-Stärke" bezeichnet, die das Ausmaß beschreibt, für das der kompensierte Druck mit der entsprechenden Kompensationsformel nachgebildet werden kann.

10

Die Schaltung 316 wählt jene Kompensationsformel aus, die jedem "Regel-Stärke"-Ausgangssignal auf dem Bus 316B entspricht. Der Bus 316B hat so viele Signale wie es Kompensationsformeln gibt. Ein "Eins"-Wert, der einer bestimmten Kompensationsformel entspricht, gibt an, daß sie zur Verwendung in der Kompensationsformel-Auswerteschaltung 304 ausgewählt ist. In unserem speziellen Beispiel definiert jede der zwölf Regel-Stärken einen Punkt auf der Oberfläche von zwölf getrennten Pentaedern, so daß zwölf Kompensationsformeln (aus einer Gesamtheit von 24) ausgewählt werden.

15

20

Der Speicher 308 speichert die Form und die Eigenschaftskonstanten für jede der Kompensationsformeln. Die Kompensationsformel-Auswerteschaltung 304 holt die Konstanten für die ausgewählten Kompensationsformeln, die über den Bus 316B angegeben werden, aus dem Speicher 308 und berechnet einen Berichtigungswert, der jeder der ausgewählten Kompensationsformeln entspricht. Die Verknüpfungsschaltung 306 empfängt die Berichtigungswerte und die Regel-Stärken für jeden der ausgewählten Bereiche und gewichtet die Berichtigungswerte durch die geeignete Regel-Stärke. Der gewichtete Durchschnitt ist durch die Gleichung 4 gegeben. Die Eigenschaftskonstanten, die in dem Speicher 308 gespeichert

25

30

sind, sind das Ergebnis einer gewichteten Anpassung der kleinsten Quadrate zwischen den tatsächlichen Betriebseigenschaften des Sensors und der ausgewählten Form der Kompensationsformel für diese Kompensationsformel. (Die gewichtete Anpassung der kleinsten Quadrate wird während der Herstellung durchgeführt und ist kein Betrieb der Einheit). Die gewichtete Anpassung der kleinsten Quadrate ist gegeben durch:

$$b = P^{-1}s \quad (8)$$

wobei  $b$  ein  $n \times 1$  Vektor der berechneten Eigenschaftskoeffizienten ist,  $P$  eine  $n \times n$  gewichtete Kovarianzmatrix der Eingangsdatenmatrix  $X$  ist und  $s$  der  $n \times 1$  gewichtete Kovarianzvektor von  $X$  mit  $y$  ist. Die Datenmatrix  $X$  hat die Dimension  $m \times n$ , wobei jede Reihe aus  $m$  Datenvektoren besteht, die einen von  $m$  (P,T,L) Eigenschaftspunkten wiedergeben.

In einer geänderten Ausführungsform der Kompensationsschaltung 58, die in der Figur 5 gezeigt ist, ist die FAND-Schaltung 316 weggelassen und die Mitgliedsfunktionsschaltungen 310 bis 314 sind durch drei explizit definierte dreidimensionale Mitgliedsfunktionen ersetzt, die die Form einer radialen Basisfunktion haben, die allgemein gegeben ist durch:

$$R_i(x) = \exp\left[-\frac{|x-x_i|^2}{\sigma_i^2}\right] \quad (9)$$

In der radialen Basisfunktion ist  $x$  ein dreidimensionaler Vektor, dessen Komponenten die digitalisierten P-, T- und L-Werte sind, ist  $x_i$  ein dreidimensionaler Vektor, der das Zentrum der Funktion im P-T-L-Raum definiert und  $\sigma$  kontrolliert die Weite der Funktion. Ein Satz aus mehrdimensiona-

len Mitgliedsfunktionen, z.B. mit radialen Basisfunktionen, ersetzt wirksam die Funktion der FAND-Schaltung 316, da die FAND-Schaltung einen Satz von mehrdimensionalen Mitgliedsfunktionen aus Sätzen von eindimensionalen Mitgliedsfunktionen erzeugt.

Die vorliegende Erfindung ist insbesondere geeignet, wenn sie in einem Meßwertgeber mit dualen Differenzdrucksensoren verwendet wird. Figur 7 zeigt den Sensorfehler auf den jeweiligen y-Achsen 400, 402, der als eine Funktion des erfaßten Differenzdrucks auf den x-Achsen 404, 406 für zwei Drucksensoren A und B (bezeichnet) geplottet ist, wobei jeder verbunden ist, wie für den Drucksensor 54A in der Figur 2 gezeigt ist. Der Sensor A umfaßt einen weiten Bereich von Drücken zwischen 0 und  $6895 \times 10^3$  Pa (1000 PSI), während der Sensor B einen Druck über Einzehntel des Meßbereichs des anderen Sensors erfaßt, nämlich von 0 bis  $689,5 \times 10^3$  Pa (100 PSI). Der Fehler für den Sensor A ist bei irgendeinem gegebenen Druck größer als der Fehler für den Sensor B bei dem gleichen Druck. Ein Dual-Sensor-Meßwertgeber, der hier beschrieben ist, hat ein Ausgangssignal, das das umgewandelte Ausgangssignal des Sensors B bei niedrigen Drücken wiedergibt, schaltet aber auf einen Ausgang um, der für das umgewandelte Ausgangssignal von dem Sensor A für höhere Drücke repräsentativ ist. Das vorliegende Kompensationsverfahren stellt ein glattes Meßwertgeber-Ausgangssignal bereit, wenn der Meßwertgeber zwischen den Sensoren A und B umschaltet. Auf die gleiche Art und Weise, wie in den Figuren 3A bis D offenbart ist, wird das Ausgangssignal vom Sensor A als eine Prozeßvariable und das Ausgangssignal vom Sensor B als eine weitere Prozeßvariable behandelt. Wie offenbart ist, ist jeder Prozeßvariablen eine Mitgliedsfunktion und eine Kompensationsformel zugewiesen, die das Aus-

maß angibt, in dem die Prozeßvariable durch die Kompensationsformel nachgebildet werden kann. Ein Berichtigungswert wird aus der Berechnung jeder der zwei Kompensationsformeln erhalten und eine Verknüpfungsfunktion gewichtet die Berichtigungswerte und erzeugt einen kompensierten Druck.

5 Dies ist ein bevorzugtes Kompensationsverfahren für Dual-Sensor-Meßwertgeber, in denen das Ausgangssignal von beiden Sensoren in einem umgeschalteten Druckbereich verwendet wird (d.h., Daten für Drücke, die innerhalb des Umschaltbereichs gemessen werden, gehen nicht verloren), wobei die

10 relative Gewichtung des Ausgangssignals jedes der Sensoren durch jede Mitgliedsfunktion des Sensors definiert ist. Diese Anwendbarkeit der vorliegenden Kompensationsverfahrens auf duale Sensoren gilt gleich gut für Meßwertgeber,

15 die mehrere Sensoren haben, die die gleiche Prozeßvariable erfassen, und auch für Meßwertgeber mit redundanten Sensoren, wobei jeder Sensor einen Bereich der PVs erfaßt, der im wesentlichen der gleich wie der andere ist.

20 Die vorliegende Erfindung kann auf Vorrichtungen angewendet werden, die außerhalb der Prozeßsteuerung und der Prozeßautomatisierungsindustrie sind, und kann z.B. verwendet werden, um die Oberflächenposition in einem Flugzeug zu steuern. Der Typ der Variablen, der in dem Kompensationsschalt-

25 kreis verwendet wird, kann ein anderer als die PVs sein, und die Kompensationsformel und Mitgliedsfunktionen können eine andere Form als die Polynomform haben und die Verknüpfungsfunktion kann eine nicht-lineare durchschnittsgebende Funktion sein.

10.11.99

95 908 616.6  
Rosemount Inc.

ANSPRÜCHE:

1. Ein Meßwertgeber, der folgendes aufweist:

eine Umwandlungsvorrichtung (54, 56), die einen ersten Sensor zur Erfassung einer variablen PV oder Prozeßvariablen innerhalb eines ersten Meßbereichs von PV-Werten und zur Erzeugung eines ersten digitalisierten Ausgangssignals aufweist, das die erfaßte PV wiedergibt;

einen Speicher (68) zum Speichern von mindestens zwei Mitgliedsfunktionen für den ersten Sensor, wobei jede Mitgliedsfunktion über einen vorher festgelegten Bereich des ersten PV-Meßbereichs einen Nicht-Nullwert und über den restlichen ersten Meßbereich einen Wert mit im wesentlichen Null aufweist;

eine Auswahlvorrichtung (64) zum Auswählen dieser Mitgliedsfunktionen, die an der ersten digitalisierten PV einen Nicht-Nullwert aufweisen;

eine Berichtigungsvorrichtung (66) zur Erzeugung mindestens eines Berichtigungswerts, wobei jeder Berichtigungswert aus einer im Speicher (68) gespeicherten Kompensationsformel berechnet wird, die einer ausgewählten Mitgliedsfunktion entspricht;

eine Gewichtungsvorrichtung (70) zur Gewichtung jedes Berichtigungswerts durch seine entsprechende ausgewählte Mitgliedsfunktion und zur Kombination der gewichteten Berichtigungswerte zur Erzeugung einer kompensierten PV; und

ein Ausgangs-Schaltkreis (62) zum Leiten der kompensierten PV



zu einem Steuer-Schaltkreis.

2. Meßwertgeber nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich Nicht-Null-Bereiche der Mitgliedsfunktionen gegenseitig überlappen.

3. Meßwertgeber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Mitgliedsfunktion dreieckig geformt ist.

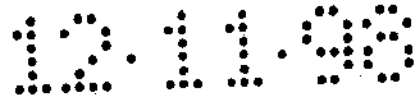
4. Meßwertgeber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Mitgliedsfunktion eine Gauß'sche Funktion ist.

5. Meßwertgeber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Gewichtungsvorrichtung die Berichtigungswerte gemäß einem gewichteten Durchschnitt kombiniert.

6. Meßwertgeber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der Kompensationsformeln eine Polynomfunktion ist.

7. Meßwertgeber nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die PV eine aus einem Satz PVs ist, die Differenzdruck, Position, volumetrische Strömung, Mengenfluß, Temperatur, Pegel, Dichte, Verdrängung, pH, Trübheit, gelösten Sauerstoff und Ionenkonzentration wiedergeben.

8. Meßwertgeber nach einem der Ansprüche 1-6, dadurch gekennzeichnet, daß die erfaßte PV Differenzdruck aufweist und es drei Mitgliedsfunktionen für den Differenzdruck gibt, wobei die Mitgliedsfunktionen je einen Mittelpunkt aufweisen, der einem maximalen Wert der Mitgliedsfunktion entspricht, daß die Mittelpunkte entlang des ersten Meßbereichs der PV-Werte gleichmäßig beabstandet sind.



9. Meßwertgeber nach einem der Ansprüche 1-6, dadurch gekennzeichnet, daß es drei Mitgliedsfunktionen gibt, von denen jede mindestens eine andere Mitgliedsfunktion um 50 % überlappt.

10. Meßwertgeber nach einem der Ansprüche 1-6, dadurch gekennzeichnet, daß die Umwandlungsvorrichtung (54, 56) weiterhin einen zweiten Sensor zur Erfassung der PV innerhalb eines zweiten Meßbereichs von PV-Werten und zur Erzeugung eines zweiten digitalisierten Ausgangssignals aufweist, das die erfaßte PV wiedergibt; und

daß der Speicher (68) weiterhin mindestens zwei Mitgliedsfunktionen für den zweiten Sensor aufweist, wobei jede Mitgliedsfunktion über einen vorher festgelegten Bereich des zweiten PV-Meßbereichs einen Nicht-Nullwert und über den restlichen zweiten Meßbereich einen im wesentlichen Nullwert aufweist; und

daß die Auswahlvorrichtung (64) weiterhin eine Vorrichtung zum Auswählen dieser Mitgliedsfunktionen aufweist, die an der zweiten digitalisierten PV einen Nicht-Nullwert aufweisen.

11. Meßwertgeber nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Bereich im wesentlichen derselbe wie der zweite Bereich ist.

12. Meßwertgeber nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Bereich größer ist als der zweite Bereich.

13. Ein Verfahren zur Berechnung von kompensierten Prozeßvariablen, das folgendes aufweist:

Erfassung einer variablen PV, die ein Verfahren wiedergibt, wobei die PV Werte innerhalb eines vorher festgelegten Meßbereichs von PV-Werten annimmt;

Umwandlung der erfaßten PV in eine digitalisierte PV;

Speichern von mindestens zwei Mitgliedsfunktionen, wobei jede Mitgliedsfunktion über einen vorher festgelegten Bereich des PV-Meßbereichs einen Nicht-Nullwert und über den restlichen Meßbereich einen im wesentlichen Nullwert aufweist;

Speichern eines Satzes von Kompensationsformeln, wobei jede Formel einer Mitgliedsfunktion entspricht;

Auswählen dieser Mitgliedsfunktionen, die an der digitalisierten PV einen Nicht-Nullwert aufweisen;

Erzeugung mindestens eines Berichtigungswerts, wobei jeder Berichtigungswert aus einer Kompensationsformel berechnet wird, die einer ausgewählten Mitgliedsfunktion entspricht;

Gewichtung jedes Berichtigungswerts durch seine entsprechende ausgewählte Mitgliedsfunktion und Kombination der gewichteten Berichtigungswerte zur Erzeugung einer kompensierten PV; und

Leiten der kompensierten PV zu einem Steuer-Schaltkreis.

0741858

1/8

12.11.98

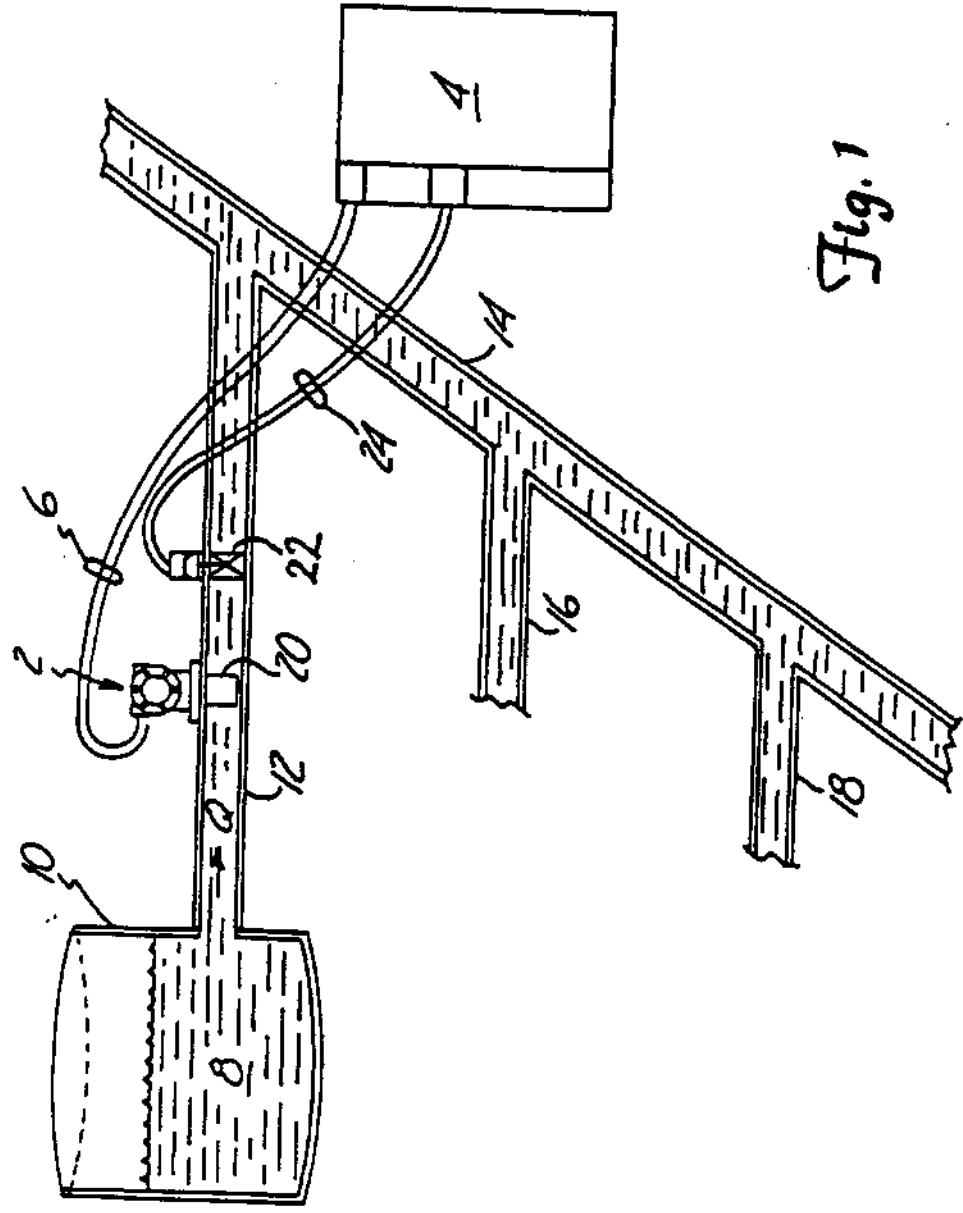


Fig. 1

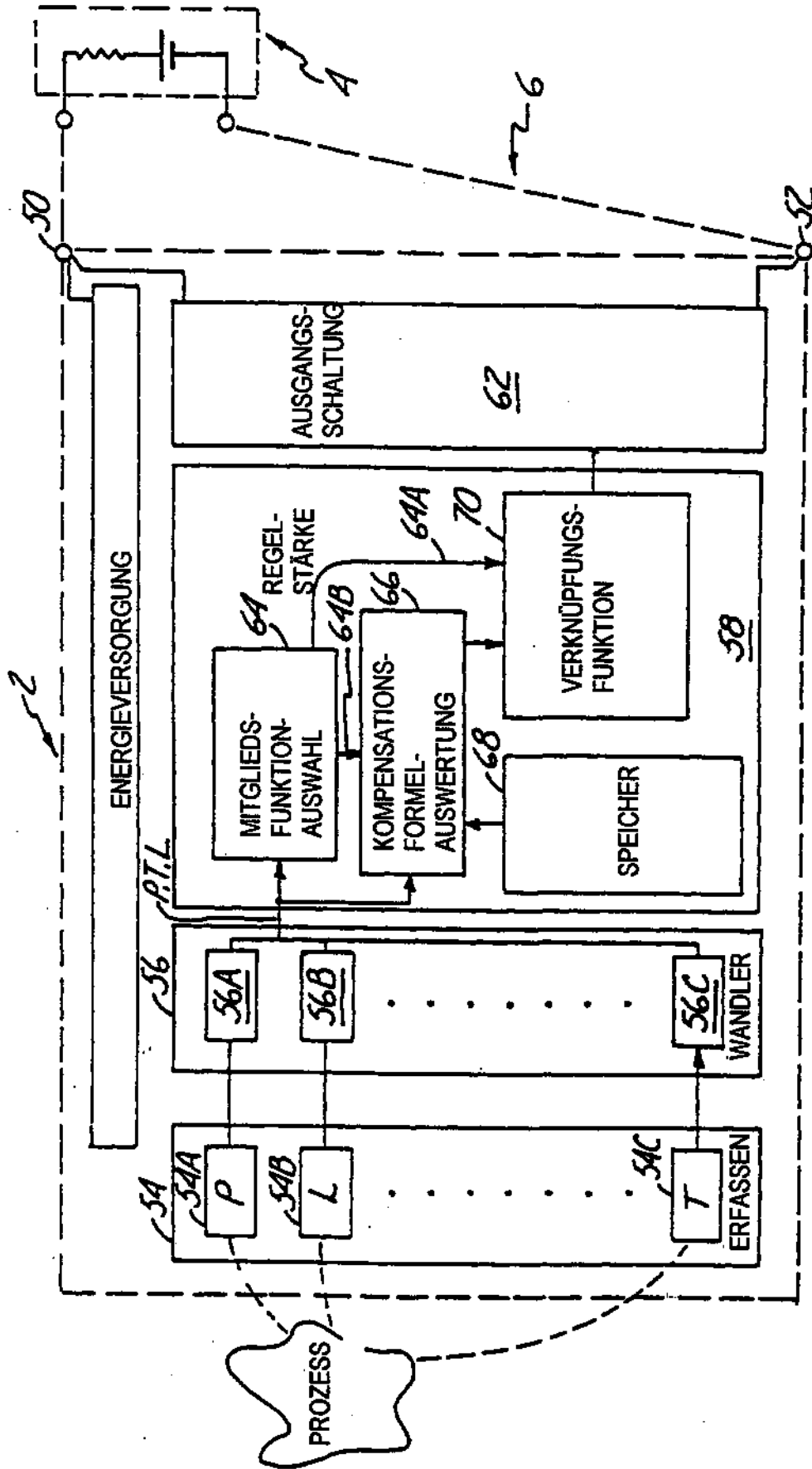


Fig. 2

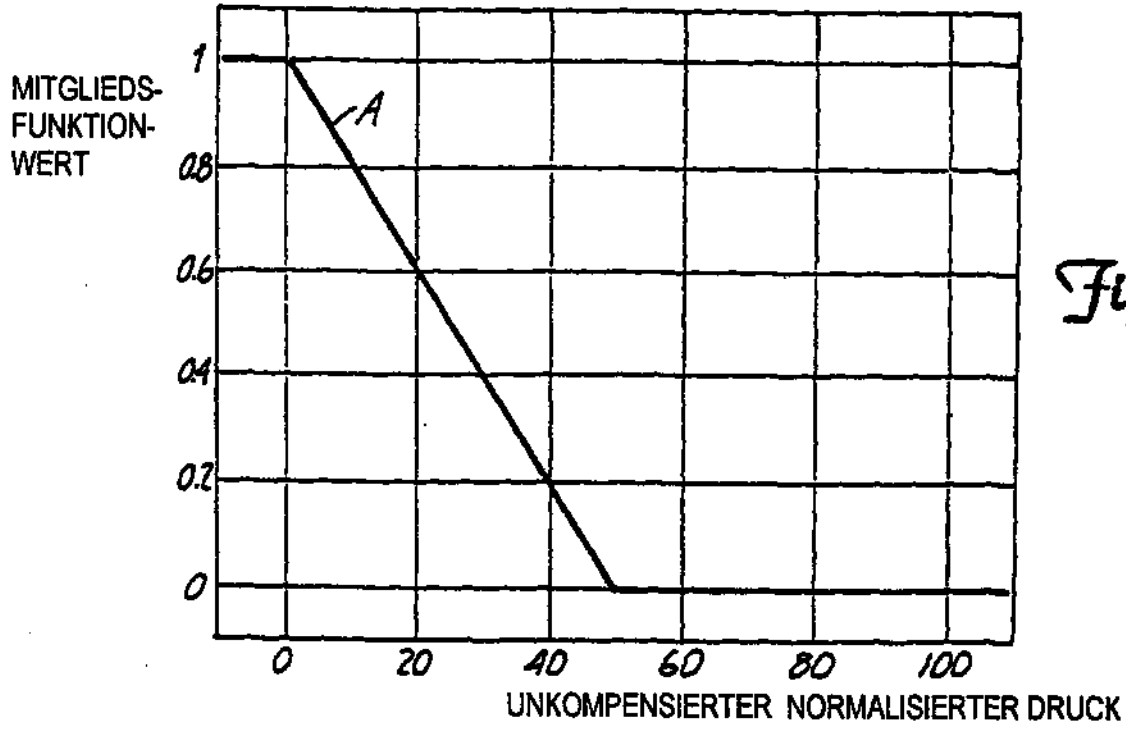


Fig 3A

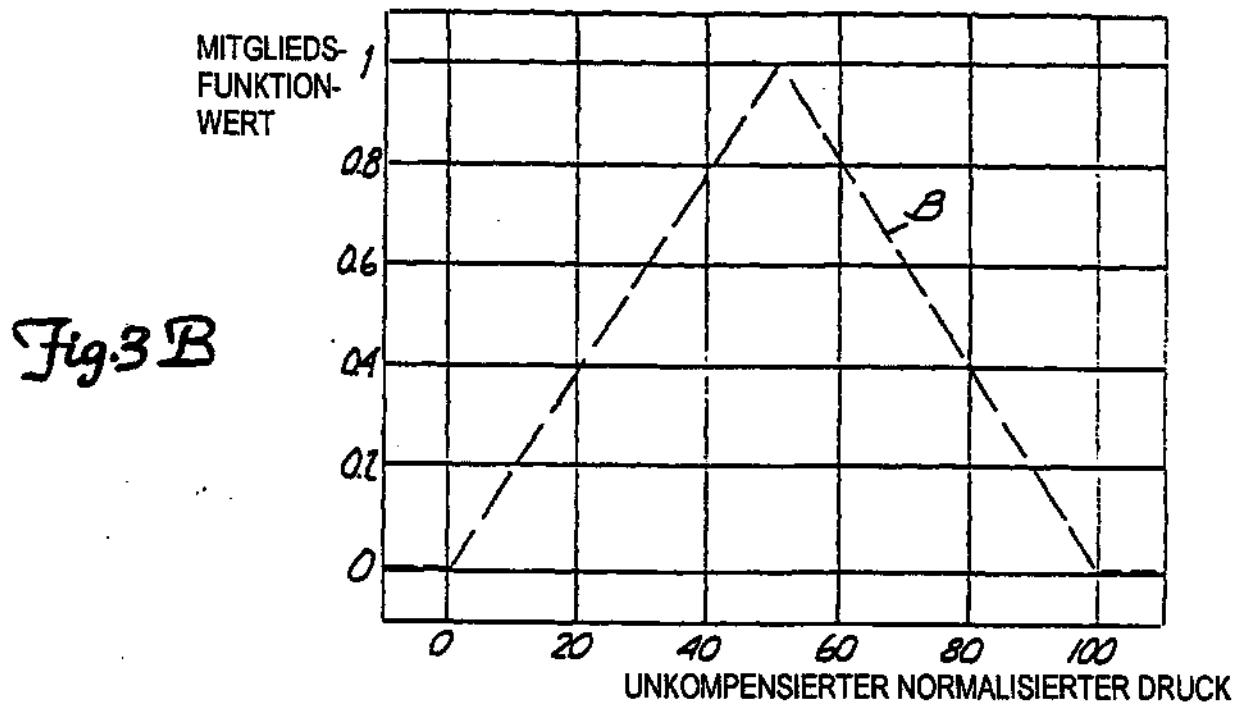


Fig 3B

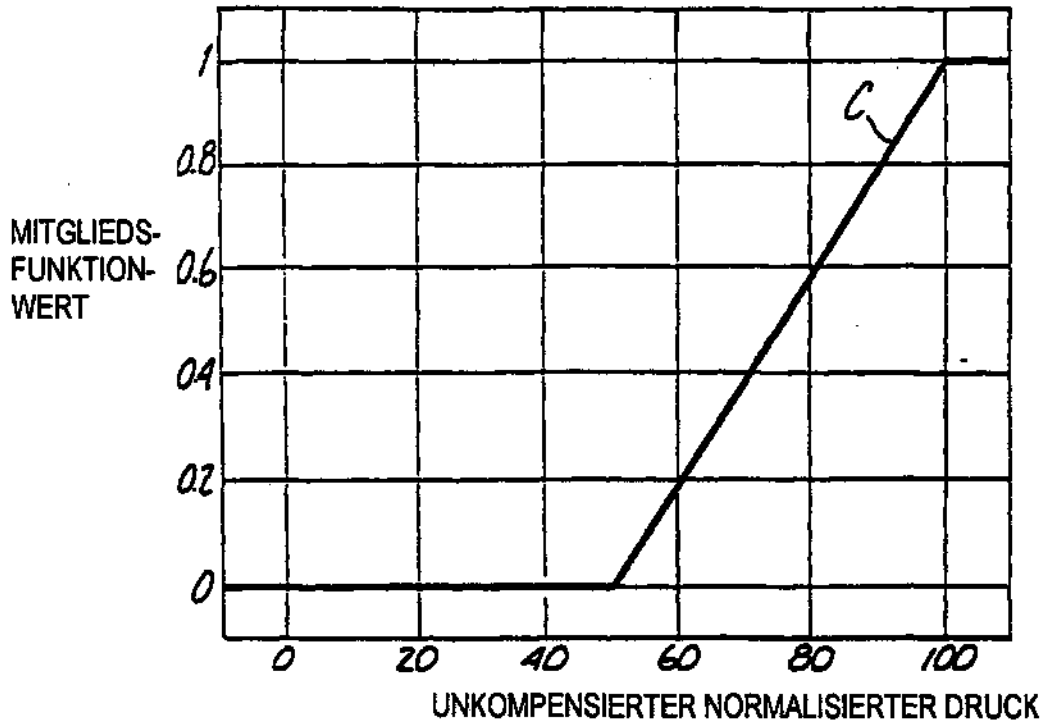


Fig. 3C

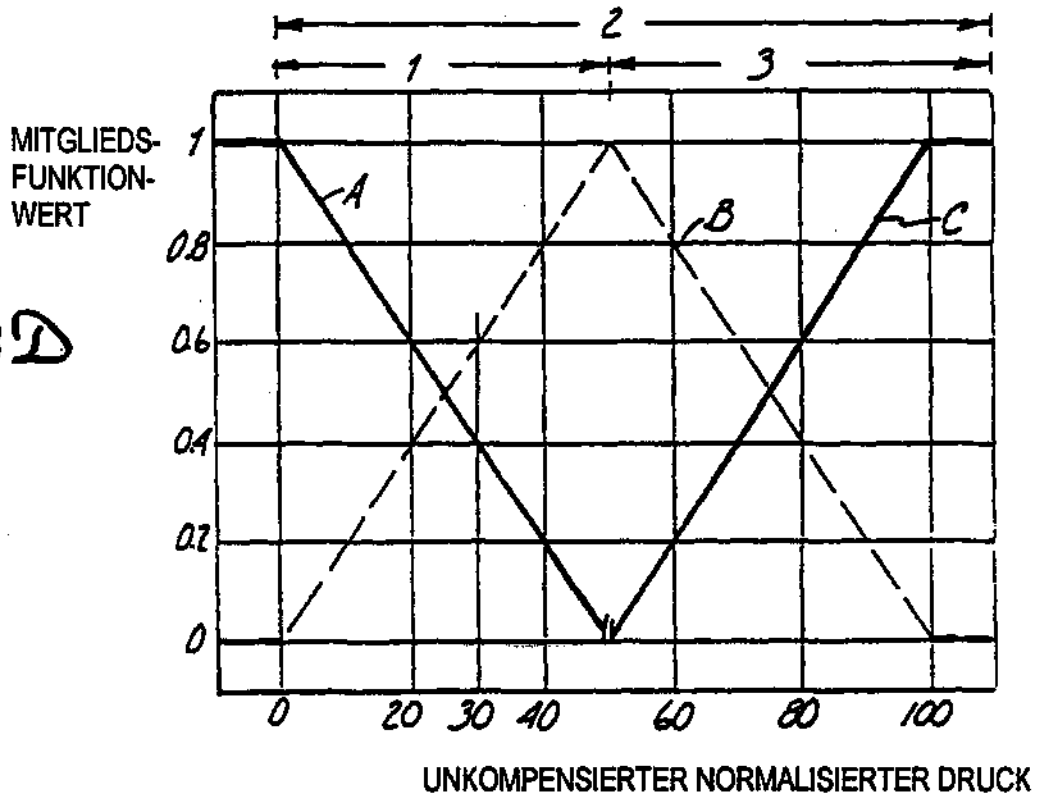
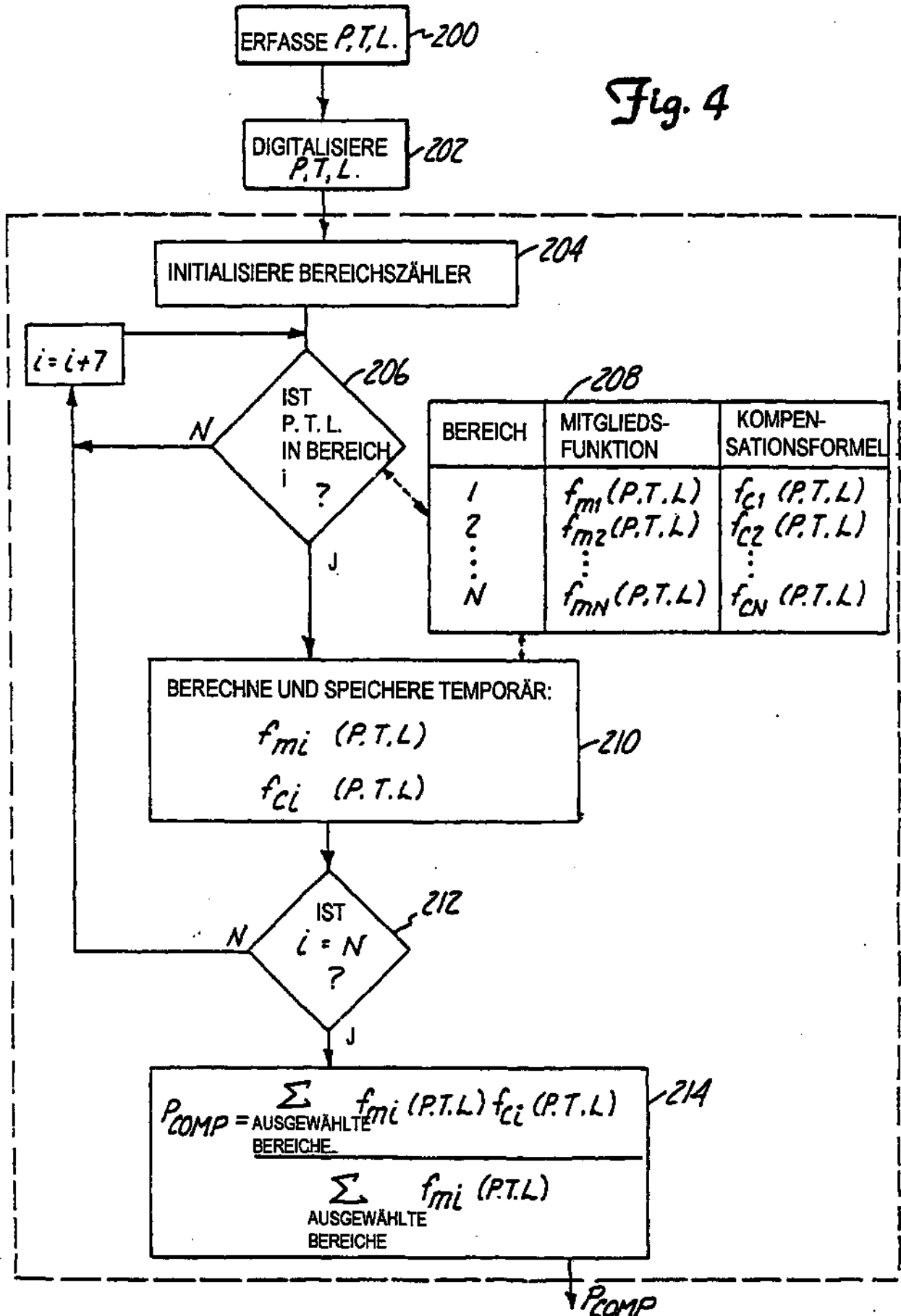


Fig. 3D

Fig. 4





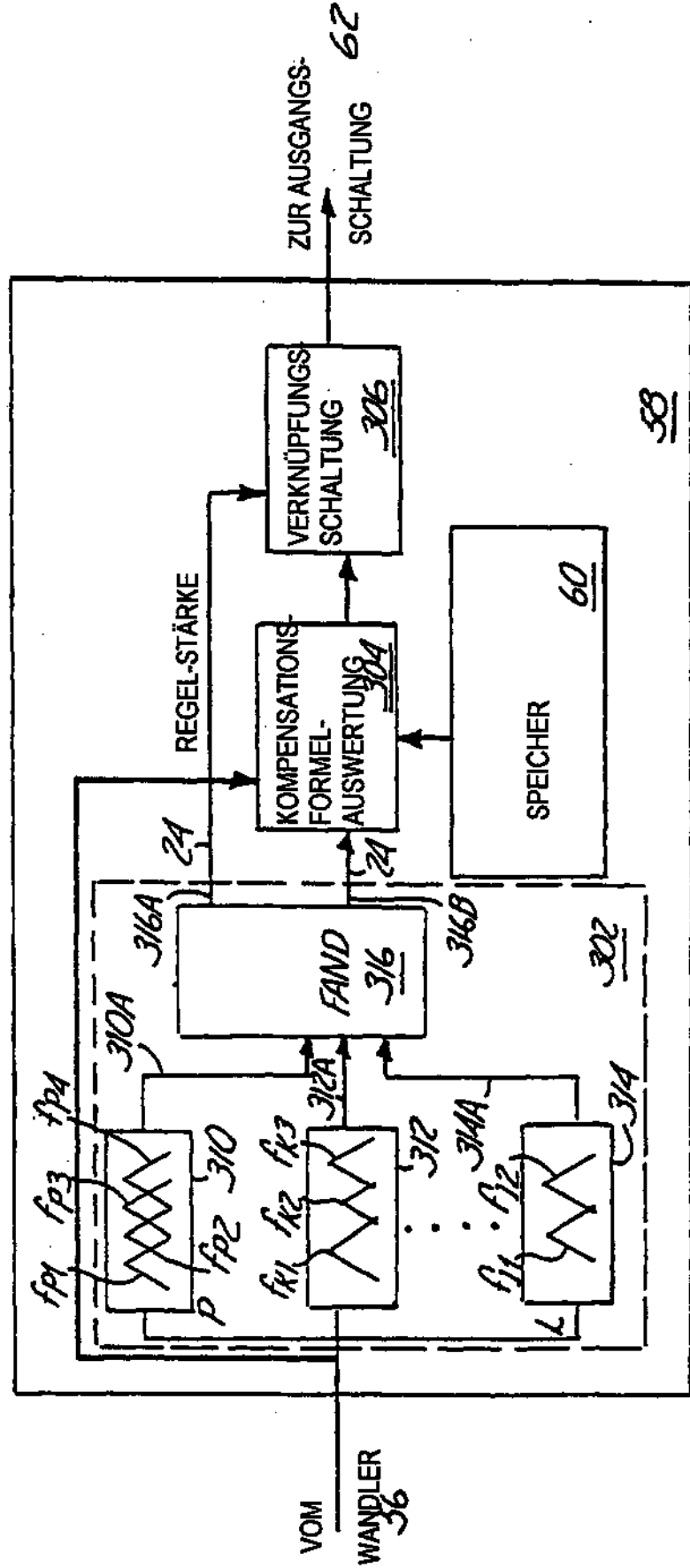


Fig. 5

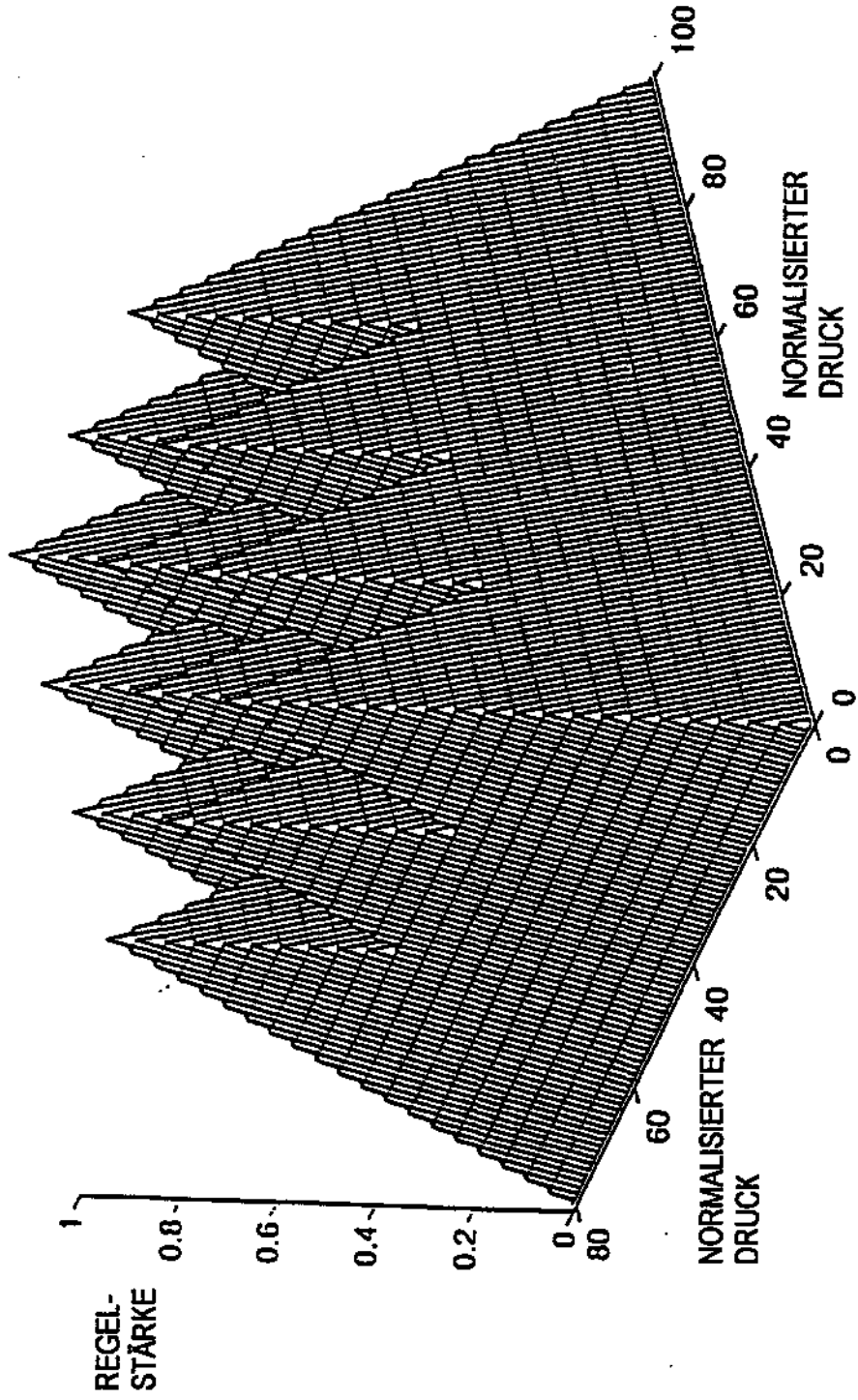


Fig. 6

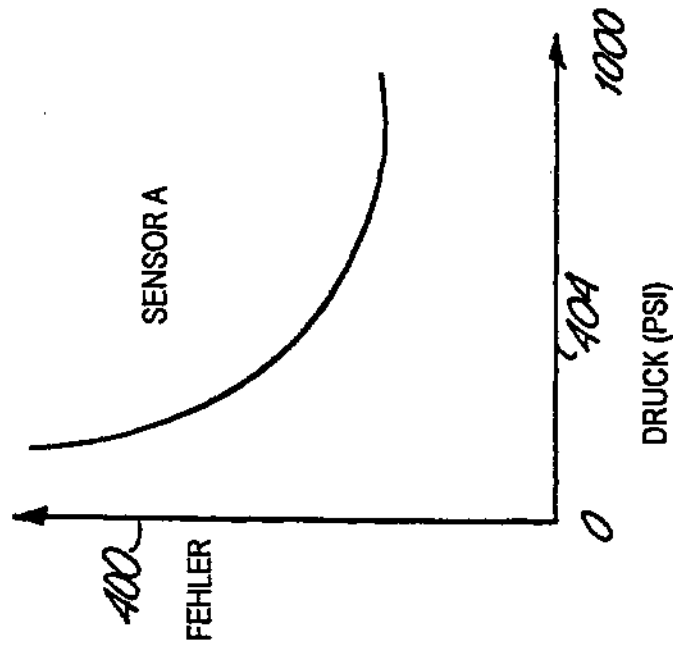
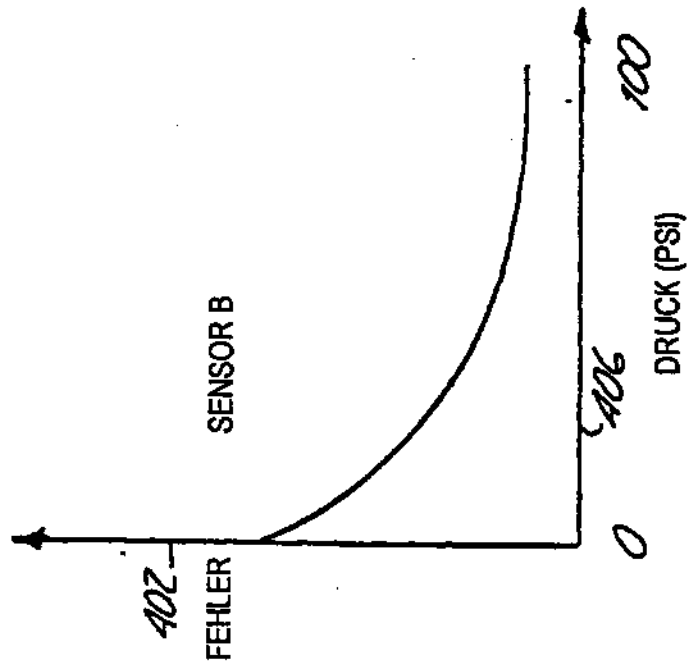


Fig.7