



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 33 893 T2** 2006.11.23

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 452 937 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G05D 7/06** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 33 893.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **04 010 177.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **20.07.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **01.09.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **22.03.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **23.11.2006**

(30) Unionspriorität:

53648 P **23.07.1997** **US**

118406 **17.07.1998** **US**

(73) Patentinhaber:

Dresser, Inc., Addison, Tex., US

(74) Vertreter:

Uexküll & Stolberg, 22607 Hamburg

(84) Benannte Vertragsstaaten:

BE, DE, ES, FR, GB, IT, NL

(72) Erfinder:

Colwell, Christopher, Mansfield, MA 0248-1639, US; Schoonover, Larry, North Attleboro, MA 02760, US; Levesque, Peter, Norwood, MA 02062, US; Zhou, David Chunhe, West Roxbury, MA 02132, US; Villier, Raymond, F-14110 Conde sur Noireau, FR; Vital, Denis G., F-61800 Montsecret, FR; Stares, James, Norton, MA 02766, US; Boger, Henry, Foxburg, MA 02035, US

(54) Bezeichnung: **Ventilstellungsregelsystem**

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

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

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Positionierer-System zum Steuern eines Fluidsteuerventils und insbesondere ein intelligentes Positionierer-System sowie Software-Routinen zur Steuerung von dessen Betrieb.

[0002] Fluidsteuerventile werden verwendet, um Transmission und Distribution von Fluiden zu steuern, wie z.B. Flüssigkeiten und Gase. Bei solchen Anwendungen gibt es häufig Anforderungen für sehr zuverlässige und genaue Ventile hinsichtlich einer korrekten Funktion. Infolge des physikalischen Leistungsvermögens der Ventile sowie der Umgebung, in der das Ventil arbeitet, müssen periodische Wartungen, Kalibrierungen und Einstellungen des Ventils während seines Betriebs durchgeführt werden. Außerdem kann das Ventil ein nicht-lineares und scheinbar unvorhersagbares Verhalten zeigen. Beispielsweise kann eine hohe Reibung in dem Ventil ein Festsitzen-/Rutsch-Verhalten bewirken, wenn das Ventil zwischen einer offenen und einer geschlossenen Position eingestellt ist. Außerdem beeinflussen Umgebungstemperaturen und Alterung die Charakteristiken der Komponenten und bewirken Positionsfehler.

[0003] Viele Ventile sind mit Betätigungsmitteln und Positionierern ausgestattet, um die Ventilbewegung zu steuern. Außerdem werden einige Positionierer mit Hilfe von Computern gesteuert. Jedoch war eine solche Steuerung etwas beschränkt. Außerdem können die herkömmlichen, durch Computer gesteuerten Positionierer nicht adäquat das tatsächliche Ventilverhalten vorhersagen. Daher ist ein Ventil-Positionierer erforderlich, der die kontinuierlichen Wartungs-, Kalibrierungs- und Einstellungsanforderungen des Ventils erleichtert.

[0004] Die DE 3911259 A1 offenbart eine elektronische Steuerschaltung für die Ventil-Charakteristiken von einem Steuerventil. Die Schaltung beinhaltet einen A/D-Wandler, einen Speicher und einen D/A-Wandler. Die bekannte Schaltung verändert die Verstärkung des eingehenden Nominalwertsignals in Reaktion auf Korrekturwerte, die in dem Speicher gespeichert sind.

Zusammenfassung der Erfindung

[0005] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Schaffung einer nicht-linearen Positionssteuerung für ein Ventil gemäß Anspruch 1 und einen Positionierer zum Schaffen einer nicht-linearen Positionssteuerung für ein Ventil gemäß Anspruch 4.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0006] [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm von einem Positionierer-System, bei dem die Prinzipien der vorliegenden Erfindung zur Steuerung eines Ventils angewendet werden.

[0007] [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) sind Darstellungen bezüglich der Position und des Drucks über die Zeit für ein Ventil.

[0008] [Fig. 4](#) ist ein Flussdiagramm für eine Routine zum Berichten von Schleifeneinstellung oder Begrenzen von zyklischen Bewegungen, die bei dem Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet wird.

[0009] [Fig. 5](#) ist ein Flussdiagramm für eine Routine für einen stoßfreien Übergang von manueller zu automatischer Betriebsart, die bei dem Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet wird.

[0010] [Fig. 6a-Fig. 6b](#) sind Flussdiagramme von einer Routine zur Durchführung einer Positionssteuerung, die bei dem Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet wird.

[0011] [Fig. 7a](#), [Fig. 7b](#) und [Fig. 7c](#) sind Flussdiagramme für andere Routinen zum Auffinden eines BI-AS-Wertes, die bei dem Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet werden.

[0012] [Fig. 8](#) ist ein Flussdiagramm für eine Routine zur Bestimmung einer Ventilsignatur, die bei dem Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet wird.

[0013] [Fig. 9](#) ist ein Flussdiagramm für eine Routine zur Bestimmung einer Ventilschrittantwort, die bei dem Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet wird.

- [0014] [Fig. 10a–Fig. 10b](#) sind Bildschirmansichten mit Graphiken zum Analysieren von Ventilantwortrückkopplung zu der Prozesssteuerung aus [Fig. 1](#).
- [0015] [Fig. 11](#) ist eine detaillierte Teilansicht von einem Ausführungsbeispiel von einem Rotationsventil, das durch das Positionierer-System aus [Fig. 1](#) gesteuert wird.
- [0016] [Fig. 12](#) ist ein Flussdiagramm für eine Ventilpositionssteuerroutine, die bei dem Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet wird.
- [0017] [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) sind Darstellungen von Ventil-Positionen über der Zeit, die bei dem Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet werden.
- [0018] [Fig. 15](#) ist ein Flussdiagramm von einer Selbsteinstellungsroutine, die bei dem Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet wird.
- [0019] [Fig. 16](#) ist ein Flussdiagramm von einer BIAS-Auffindungsroutine, die von der Selbsteinstellungsroutine aus [Fig. 15](#) aufgerufen wird.
- [0020] [Fig. 17a](#) und [Fig. 17b](#) sind Flussdiagramme von einer Open-Loop-Einstellungsroutine, die von der Selbsteinstellungsroutine aus [Fig. 15](#) aufgerufen wird.
- [0021] [Fig. 18](#) ist ein Flussdiagramm für eine Parameterbestimmungsroutine, die von der Routine aus [Fig. 17a](#) verwendet wird.
- [0022] [Fig. 19](#) ist ein Flussdiagramm von einer Closed-Loop-Selbsteinstellungsroutine, die von der Selbsteinstellungsroutine aus [Fig. 15](#) aufgerufen wird.
- [0023] [Fig. 20a](#) und [Fig. 20b](#) sind Flussdiagramme von einer Vorwärtseinstellungsunterroutine, die durch die Closed-Loop-Selbsteinstellungsroutine aus [Fig. 19](#) aufgerufen wird.
- [0024] [Fig. 21](#) ist ein Flussdiagramm von einer Rückwärtseinstellungsunterroutine, die durch die Closed-Loop-Selbsteinstellungsroutine aus [Fig. 19](#) aufgerufen wird.
- [0025] [Fig. 22](#) ist ein Flussdiagramm für eine Ventilselbstcharakterisierungsroutine, die durch das Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet wird.
- [0026] [Fig. 23](#) ist ein Flussdiagramm zum Erfassen eines ausgefallenen Positionssensors, das durch das Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet wird.
- [0027] [Fig. 24](#) ist ein Flussdiagramm von einer Diagnoseroutine für Sitzabnutzung bei geringer Anhebung, die durch das Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet wird.
- [0028] [Fig. 25](#) ist ein Flussdiagramm von einer Ventilsitzschließdiagnoseroutine, die durch das Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet wird.
- [0029] [Fig. 26](#) ist ein Flussdiagramm von einer Routine zur Bestimmung einer minimalen steuerbaren Anhebungseinstellung, die durch das Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet wird.
- [0030] [Fig. 27–Fig. 28](#) sind Bildschirmansichten von einer Graphik für Strömungskapazitäten über der Ventilposition und von einem Aufklapp-Fenster, das angezeigt wird, wenn der Benutzer eine ungültige Positionsveränderung anfragt, die durch das Positionierer-System aus [Fig. 1](#) bereitgestellt werden.
- [0031] [Fig. 29](#) ist ein Flussdiagramm von einer Routine zur Bestimmung von Systembeschränkungen, die durch das Positionierer-System aus [Fig. 1](#) verwendet wird, und zwar unter Verwendung der Bildschirmansichten aus [Fig. 27–Fig. 28](#).

Beschreibung des bevorzugten Ausführungsbeispiels

- [0032] Unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) der Zeichnungen wird ein Ventil **10** durch ein Positionierer-System **12** gesteuert, durch welches die Merkmale der vorliegenden Erfindung implementiert sind. Das Positionierer-System

tem **12** weist einen Multiplexer **14**, einen Analog/Digital-Wandler **16** (A/D-Wandler), einen Mikroprozessor **18**, einen Digital/Analog-Wandler **20** (D/A-Wandler), einen Strom/Druck-Wandler **22** ("I/P"-Wandler), ein Schieberventil **24** und ein Betätigungsmittel **26** auf. Der Positionierer **12** wird durch eine Stromversorgung **30** und eine Luftversorgung **32** unterstützt.

[0033] Der Multiplexer **14** empfängt mehrere Signale, die ein Druck-Rückkopplungssignal **40** von dem Betätigungsmittel **26** und ein Positions-Rückkopplungssignals **42** von dem Ventil **10** umfassen. Das Druck-Rückkopplungssignal **40** wird von dem Drucksensor **44** abgeleitet, der pneumatisch mit dem Betätigungsmittel **26** gekoppelt ist, und das Positions-Rückkopplungssignal **42** wird von einem Positions-Rückkopplungssensor **46** abgeleitet, der mechanisch mit dem Ventil **10** gekoppelt ist. wenn sich daher die Positionen von dem Ventil und dem Betätigungsmittel verändern, werden dem Multiplexer **14** die veränderten Positionen über das Druck-Rückkopplungssignal **40** und das Positions-Rückkopplungssignal **42** mitgeteilt.

[0034] In einigen Ausführungsbeispielen ist der Positionssensor **46** von dem Rest des Positionierers **12** getrennt. Beispielsweise kann in Situationen, in denen sich das Ventil **10** in einer rauen Umgebung befindet, der Positionierer **12** separat angeordnet sein, wobei lediglich der Positionssensor **46** an dem Ventil **10** angebracht ist. Folglich befinden sich lediglich die Luftleitung von dem I/P-Wandler **22**, der Positionssensor **46** und die Leitung für das Rückkopplungssignal **42** in der rauen Umgebung.

[0035] Der Multiplexer **14** liefert die Signale über den A/D-Wandler **16** an den Mikroprozessor **18**. Der Mikroprozessor **18** enthält einen Software-Code, der in größerem Detail nachfolgend beschrieben wird, um die Position des Ventils **10** zu überwachen, sowie eine Steuerung (nicht gezeigt), um verschiedene Ventilpositionierungsroutinen durchzuführen. In einigen Ausführungsbeispielen kann die Steuerung von dem Positionierer **12** entfernt sein, obwohl in anderen Ausführungsbeispielen die Steuerung Teil des Mikroprozessors **18** ist. Daher ist die Funktionalität, die entweder der Steuerung oder dem Mikroprozessor **18** zugewiesen ist, zwischen den beiden austauschbar.

[0036] Der Mikroprozessor **18** kann ein oder mehrere Programme intern oder in einem externen Speicher speichern, wie z.B. in einem nichtflüchtigen Speicher **48**. Außerdem kann der Mikroprozessor **18** nach außen hin mit Vorrichtungen verbunden sein, wie z.B. eine Tastatur **50** und ein Display **52**. Die externe Steuerung kommuniziert mit dem Mikroprozessor **18** über ein Eingangssignal **54**, das mit dem Multiplexer **14** gekoppelt ist. In einigen Ausführungsbeispielen, insbesondere in jenen, die die externe Steuerung verwenden, müssen die Tastatur **50** und das Display **52** nicht vorhanden sein. In diesen Ausführungsbeispielen führen ein Eingabe- und Ausgabemittel, die mit der externen Steuerung in Beziehung stehen, die identischen Funktionen durch.

[0037] In Reaktion auf die gespeicherten Programme und die externen Schnittstellen steuert der Mikroprozessor **18** (mit oder ohne die externe Steuerung) die Position des Ventils **10**, und zwar durch Steuerung elektronischer Positionssignale. Der Mikroprozessor **18** liefert die elektronischen Positionssignale an den I/P-Wandler **22** über den D/A-Wandler **20**, der die Signale in ein analoges Signal "AUS" umwandelt. Der IP-Wandler **22**, der auch eine geregelte Luftzufuhr von der Luftquelle **32** empfängt, wandelt das AUS-Signal in pneumatische Positionssignale um.

[0038] Der IP-Wandler **22** liefert die pneumatischen Positionssignale über das Schieberventil **24** zum Betätigungsmittel **26**. Das Betätigungsmittel **26** ist eine herkömmliche Membran, wie z.B. eine federbelastete (Feder **56**) Einrichtung zur Steuerung der Position des Ventils **10**. Das Betätigungsmittel kann einfach oder doppelt wirken und kann mit dem Ventil **10** verbunden sein, so dass das Ventil durch einen ansteigenden Druck geschlossen wird, oder alternativ, dass das Ventil durch einen ansteigenden Druck geöffnet wird.

[0039] Das Ventil **10** ist ein herkömmliches Ventil und kann eines von vielen verschiedenen Typen sein, einschließlich ein Rotationsventil, das nachfolgend unter Bezugnahme auf [Fig. 11](#) in größerem Detail beschrieben wird. Das Ventil **10** enthält beispielhaft ein Gehäuse **60**, durch das ein Fluid strömen kann, einen Ventilstopfen **62** und einen Ventilschaft **64**. Das Gehäuse **60** beinhaltet einen Sitz **68**, so dass dann, wenn der Stopfen **62** gegen den Sitz gedrückt wird, das Ventil geschlossen ist, und wenn der Stopfen von dem Sitz getrennt wird, das Ventil geöffnet ist. Das Betätigungsmittel **26** bewegt den Ventilschaft **64** in Reaktion auf pneumatische Signale von dem I/P-Wandler **22**, um somit den Stopfen **62** hin- und herzubewegen, wobei der Ventil geöffnet und geschlossen wird. Viele Kräfte wirken auf den Ventilschaft **64** und den Stopfen **62**, einschließlich beispielsweise Federkräfte von dem Betätigungsmittel **26**, Fluidkräfte und Reibungskräfte. Es soll verstanden werden, dass Ventile und deren zugehörige Kräfte in der Technik allgemein bekannt sind und dass die obige Beschreibung lediglich für einige verschiedene Ventiltypen repräsentativ ist. Für die übrige Beschreibung wird die allgemeine Bezugnahme auf das Ventil **10** in Richtung auf den Ventilstopfen **62** und den Ventilschaft **64** gelenkt,

sofern nichts anderes angegeben ist.

[0040] Mit dem Ventil **10** steht eine Strömungscharakteristik in Beziehung. Eine Strömungscharakteristik beschreibt die Strömungskapazität für das Ventil **10** über die Bewegung (offen oder geschlossen) des Ventils **10**. Typische Strömungscharakteristiken sind lineare und nicht-lineare Charakteristiken. Ein Typ von nicht-linearer Strömungscharakteristik wird als gleichprozentig bezeichnet, wenn zum Beispiel das Ventil **10** bis 50% offen ist, dann beträgt die Strömungskapazität für das Ventil 50%. Normalerweise öffnet sich das Ventil bei Gleichprozentigkeit nicht linear als eine Funktion des Steuersignals, sondern öffnet stattdessen zuerst sehr langsam und dann am Ende viel schneller. Kundenspezifische Charakteristiken für das Ventil **10** sind ebenfalls verfügbar, wie nachfolgend in größerem Detail beschrieben wird.

Begrenzte Zykluserfassung bei einem Mikroprozessor-gesteuerten Ventilpositionierer

[0041] Bei herkömmlichen Positionierer-Systemen, und zwar auch bei solchen, die Mikroprozessor-gesteuert sind, ist der Positionierer häufig nicht in der Lage, das Ventil auf einen gewünschten Einstellpunkt einzustellen. Stattdessen tendiert eine Regelschleife in dem Positionierer zu einer zyklischen Rückwärts- und Vorwärtsbewegung um den gewünschten Einstellpunkt (begrenzte zyklische Bewegung). Dies kann durch Prozessrauschen, eine schlecht eingestellte Schleife oder ein Ventil mit begrenzter zyklischer Bewegung verursacht werden. Es ist häufig schwierig, den Grund der begrenzten zyklischen Bewegung zu bestimmen.

[0042] Ein Grund für eine begrenzte zyklische Bewegung ist die Reibung. Wenn ein Betätigungsmittel versucht, ein Ventil in eine neue Position zu bewegen, muss das Betätigungsmittel kontinuierlich Druck aufbauen, bis endlich die Reibung in einer Richtung überwunden wird und das Ventil anfängt sich zu bewegen. Wenn sich das Ventil dann bewegt hat, tritt die Steuerschleife in Aktion und versucht, es in die entgegengesetzte Richtung zu bewegen. Und schon wieder muss das Betätigungsmittel kontinuierlich Druck aufbauen, bis es schließlich die Reibung überwindet. Die Zeit, die das Betätigungsmittel benötigt, einen ausreichenden Druck aufzubauen, um das Ventil zu bewegen, wird als "Verzögerung" bezeichnet, und die Differenz zwischen Position und Druck wird als "Phasenverschiebung" bezeichnet.

[0043] Die vorliegende Erfindung dient dazu, die Phasenverschiebung zu berechnen und dann zu bestimmen, ob eine begrenzte zyklische Bewegung stattfindet. Daher kann die Beziehung zwischen der Ventilposition und dem Druck des Betätigungsmittels verwendet werden, um das Vorhandensein und die Quelle der begrenzten zyklischen Bewegung zu bestimmen. Wenn diese bestimmt sind, dann kann der begrenzten zyklischen Bewegung auf verschiedene Art und Weise begegnet werden, einschließlich Benachrichtigen des Benutzers, Aktualisieren eines Wartungsplans für das Ventil, usw.

[0044] Unter Bezugnahme auf [Fig. 2](#) wird beispielsweise ein sinusförmiger Druck betrachtet, durch den das Ventilbetätigungsmittel **26** gesteuert wird. Das Betätigungsmittel und das Ventil **10** haben eine zugehörige Reibung. Im Fall einer hohen Reibung stellt eine durchgehende Linie **70** den Druck als eine Funktion über der Zeit dar, die gepunktete Linie **72** stellt die Ventilposition als eine Funktion über der Zeit dar, und die gestrichelte Linie **74** stellt den durchschnittlichen Wert von Position und Druck dar. Zu einem Zeitpunkt T1 ist der Druck groß genug, um die Reibung zu überwinden, und das Ventil **10** beginnt sich zu bewegen, und zwar angetrieben durch den ansteigenden Druck. Zu einem Zeitpunkt T2 steigt der Druck nicht mehr an und beginnt abzunehmen. Als ein Ergebnis wird die Bewegung des Ventils **10** beendet, bis der Druck bei einem Zeitpunkt T3 niedrig genug ist, um die Reibung wieder zu überwinden, und das Ventil **10** fängt wieder an sich zu bewegen.

[0045] Unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) wird in einem Fall mit geringer Reibung der gleiche Druckzyklus **70** auf das Ventil angewendet. Eine neue gepunktete Linie **76** stellt eine Ventilposition als eine Funktion über der Zeit dar. Zu einem Zeitpunkt T5 ist der Druck hoch genug, um die Reibung zu überwinden, und das Ventil **10** fängt an sich zu bewegen, angetrieben durch den angestiegenen Druck. Zu einem Zeitpunkt T6 steigt der Druck nicht mehr an und beginnt zu sinken. Als ein Ergebnis hört das Ventil **10** auf sich zu bewegen, wobei zu einem Zeitpunkt T7 der Druck gering genug ist, um die Reibung wieder zu überwinden, und das Ventil beginnt erneut sich zu bewegen. Da jedoch die Reibung in dem Zyklus viel früher überwunden wird, ist die Zeit zwischen T6 und T7, während sich das Ventil nicht bewegt, sehr klein. Damit ist die Verzögerung zwischen dem Druck und der Position sehr viel kleiner. In diesem Fall mit geringer Reibung ist eine begrenzte zyklische Bewegung vermutlich nicht die Ursache des zyklischen Drucks des Betätigungsmittels. Stattdessen ist die Ursache wahrscheinlich die Schleifeneinstellung.

[0046] In Reaktion auf eine begrenzte zyklische Bewegung erfasst und berichtet die Steuerung jede begrenzte zyklische Bewegung des Ventils **10**. Die Steuerung erfasst die begrenzte zyklische Bewegung, indem der

Mikroprozessor **18** den gewünschten Ventileinstellungspunkt, die Position des Ventils **10** durch das Positions-Rückkopplungssignal **42** und den Druck des Betätigungsmittels durch das Druck-Rückkopplungssignal **40** empfängt und analysiert. Der Mikroprozessor **18** vergleicht die Nulldurchgänge (Messwerte bezüglich eines durchschnittlichen Messwerts) von diesen drei Werten und berechnet daraus die Phasenbeziehung zwischen diesen. Begrenzte zyklische Bewegung kann durch eine 90°-Phasenbeziehung zwischen der Ventilposition und dem Druck des Betätigungsmittels identifiziert werden. Wenn begrenzte zyklische Bewegung erfasst wird, dann alarmiert der Mikroprozessor **18** den Benutzer zum Beispiel über das Display **52**, wodurch es dem Benutzer möglich ist, eine korrekte und zeitlich abgestimmte Wartung durchzuführen.

[0047] Unter Bezugnahme auf [Fig. 4](#) wird eine Routine **80** während jedes Zyklus der Oszillation mehrere Male wiederholt durchgeführt. Die Routine **80** berechnet zwei Zählerwerte, VERZÖGERUNG und PERIODE, die möglicherweise bei jeder Iteration der Routine inkrementiert werden. Die Routine **80** berichtet entweder SCHLEIFENEINSTELLUNG **82** oder BEGRENZTE ZYKLISCHE BEWEGUNG **84** als Ursache der Oszillation. Wenn SCHLEIFENEINSTELLUNG **82** berichtet wird, was durch nicht korrekte Einstellung der Prozessregelschleife verursacht wird, muss der Benutzer die Prozessregelschleifeneinstellung entsprechend einstellen. Wenn jedoch BEGRENZTE ZYKLISCHE BEWEGUNG **84** berichtet wird, was durch einen hohen Reibungswert des Ventils **10** bewirkt werden kann, muss der Benutzer das Ventil **10** ersetzen und/oder neu einbauen, um eine solche hohe Reibung zu vermeiden.

[0048] Die Durchführung beginnt bei Schritt **90**, wo der Druck des Betätigungsmittels abgetastet wird. Dies erfolgt durch Lesen des Druck-Rückkopplungssignals **40**. Der Druck des Betätigungsmittels muss proportional zu dem AUS-Signal sein. In Schritt **92** wird eine exponentielle Durchschnittsbildung des Drucks des Betätigungsmittels durchgeführt.

$$\text{Durchschnittsdruck} = (\text{alter Durchschnitt} \cdot N + \text{abgetasteter Wert}) / (N + 1) \quad (1)$$

wobei N eine Zahl ist, die gewährleistet, dass der Durchschnitt über mehrere Perioden stattfindet. Da Perioden mit begrenzter zyklischer Bewegung normalerweise einige Sekunden andauern, und da 10 Iterationen pro Sekunde erfolgen können, kann N häufig bei etwa 1000 liegen.

[0049] In Schritt **94** untersucht die Routine **80** die positiven Nulldurchgänge von Druck und Ventilposition. Unter Bezugnahme auf [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) finden die positiven Nulldurchgänge der Druckmessung zu Zeitpunkten T10, T12, T13 und T15 statt. Die PERIODE wird zwischen T10 und T12 sowie zwischen T13 und T15 gemessen. Positive Nulldurchgänge der Positionsmessung finden zu Zeitpunkten T11 und T14 statt. Die Zeiten für VERZÖGERUNG werden zwischen T10 und T11 sowie zwischen T13 und T14 gemessen. Um die Auswirkung von Rauschen zu reduzieren, können die Nulldurchgänge T10, T11, T12, T13, T14 und T15 alternativ nach einigen aufeinanderfolgenden Messungen aus dem Positions-Rückkopplungssignal **42** und dem Drucksignal **40** definiert werden.

[0050] In Schritt **96** erfolgt eine Bestimmung, ob die Nulldurchgänge ins Positive gehen. Falls nicht, dann wird in Schritt **98** die Intervallzeitgebung von PERIODE inkrementiert, und die Durchführung geht weiter zu Schritt **100**. Anderenfalls wird in Schritt **102** ein Wert X berechnet:

$$X = \text{VERZÖGERUNG} / \text{PERIODE} \quad (2)$$

[0051] Um den Effekt des Rauschens weiter zu reduzieren, kann der Wert X ebenfalls gemittelt werden. Der Wert X stellt einen Sicherheitspegel bezüglich der Bestimmung der Ursache der Oszillation zur Verfügung. Wenn in Schritt **104** der Wert X nahezu Null ist, dann ist es wahrscheinlich, dass SCHLEIFENEINSTELLUNG **82** die Ursache der Oszillation ist. Wenn $X > 0,15$, dann ist BEGRENZTE ZYKLISCHE BEWEGUNG **84** vermutlich der Grund der Oszillation. In Schritt **106** werden die Werte PERIODE und VERZÖGERUNG auf "Null" gesetzt, und der Wert STEP wird auf "1" gesetzt.

[0052] In Schritt **100** wird die Ventilposition durch das Positions-Rückkopplungssignal **42** gemessen. In Schritt **108** werden die Positionswerte exponentiell gemittelt (siehe obige Gleichung 1), und in Schritt **110** werden erneut die Nulldurchgänge bestimmt. In Schritt **112** erfolgt eine Bestimmung, ob die Nulldurchgänge ins Positive gehen. Wenn dies der Fall ist, dann wird in Schritt **114** der Wert STEP auf "0" gesetzt. In Schritt **116** wird der Wert VERZÖGERUNG auf VERZÖGERUNG + STEP gesetzt, und die Ausführung kehrt zurück zu Schritt **90**. Als ein Ergebnis wird die Intervallzeitgebung von PERIODE in jedem Zyklus während der Periode inkrementiert und am Ende der Periode zurückgesetzt. Die Intervallzeitgebung von VERZÖGERUNG wird nur dann inkre-

mentiert, wenn STEP = "1" ist, und am Ende der Periode zurückgesetzt. Der Wert "1" stellt eine Interaktion der Routine **80** zur Bestimmung der Zählerwerte von VERZÖGERUNG und PERIODE dar. Daher wirkt der Wert STEP als ein Schalter, der einen bestimmten Zähler ein- und ausschaltet. Beispielsweise sollte PERIODE mit dem Zählen aufhören, nachdem die Position zu einem Nulldurchgang geht.

Stoßfreier Übergang von manueller Betriebsart zu normaler Betriebsart

[0053] Der Positionierer **12** unterstützt zwei Betriebsarten: eine normale automatische Betriebsart und eine manuelle Betriebsart. In beiden Fällen läuft ein Steueralgorithmus und positioniert das Ventil, wobei die Differenz bestimmt wird, indem der Ventileinstellpunkt bestimmt wird. Üblicherweise, wenn das Ventil von der automatischen Betriebsart auf die manuelle Betriebsart umgeschaltet wird, wird die Steuerung des Positionierers extern "hochgedreht", d.h. geht zu einer minimalen oder maximalen Ausgabe. Wenn dann das Ventil in die normale Betriebsart zurückgeschaltet wird, schließt oder öffnet der Positionierer das Ventil, bevor es in die korrekte Position bewegt wird, wodurch das Ventil Stöße erzeugt.

[0054] Beispielsweise kann eine externe Steuerung versuchen, eine Ventilposition anzupassen, während Fluid durch das Ventil strömt. Der Positionierer **12** versucht, die Strömung zu steuern, um einen bestimmten Ventileinstellpunkt anzupassen. Wenn die Steuerung auf die manuelle Betriebsart umgeschaltet wird und die Strömung durch das Ventil zu hoch ist, dann versucht die Steuerung den Ventileinstellpunkt zu verändern, indem das Ventil in einem geringen Ausmaß geschlossen wird. Da sich das Ventil in der manuellen Betriebsart befindet, werden die Positionierungssignale ignoriert. Die Steuerung versucht weiterhin, das Ventil weiter zu schließen, indem das Signal zum Schließen des Ventils erhöht wird. Wenn dann der Positionierer **12** in die normale Betriebsart zurückgeschaltet wird, wird dieses Schließen-Signal erkannt, und das Ventil **12** wird vollständig geschlossen. Die Steuerung erkennt dann, dass die Strömung jetzt zu gering ist und fängt an, das Ventil wieder zu öffnen. Daher kann es einen "Stoß" in der Strömung geben, wenn sich das Ventil **10** schließt und dann wieder öffnet.

[0055] Bei der vorliegenden Erfindung wird durch den Positionierer **12** ein stoßfreier Übergang zwischen den Betriebsarten erreicht, indem verhindert wird, dass das Ventil **10** schnell schließt oder vollständig öffnet, nachdem die Steuerung des Ventils durch den Positionierer von der automatischen Betriebsart in die manuelle Betriebsart und dann zurück in die automatische Betriebsart wechselt. Wenn von der manuellen Betriebsart in die automatische Betriebsart umgeschaltet wird, dann liest der Mikroprozessor **18** das Positions-Rückkopplungssignal **42**. Wenn die Position des Ventils **10** nicht mit der gewünschten Ventilposition übereinstimmt, dann wartet der Mikroprozessor **18**, dass der Benutzer den Steuerungsausgang verändert, um die aktuelle Ventilposition anzupassen. Das Ventil **10** wird in seiner aktuellen Position gehalten, bis der Steuerungsausgang verändert wurde, um angepasst zu sein. Der Mikroprozessor **18** kann den Benutzer informieren, wie z.B. auf dem Display **52**, um es den Benutzer zu ermöglichen, zu sehen, in welchem Ausmaß das Signal verändert werden muss, um die aktuelle Ventilposition anzupassen.

[0056] Unter Bezugnahme auf [Fig. 5](#) bewirkt eine Routine **150** einen stoßfreien Übergang von einer manuellen Betriebsart in eine automatische Betriebsart. Die Routine **150** verwendet eine anfängliche aktuelle Position P_i , eine charakterisierte Position P_s und eine Einstellpunktposition S_p . Der Positionswert S_p (Eingangssignal **54**) kommt von der Steuerung. Wenn das Ventil **10** eine gleichprozentige Charakteristik hat, dann sind die charakterisierende Position P_s und die Einstellpunktposition S_p gleich. Andererseits wird eine Charakterisierungsfunktion F_c verwendet, um die Einstellpunktposition S_p in die charakterisierte Position P_s zu konvertieren. Eine Charakterisierungsfunktion definiert die Beziehung zwischen dem Eingangssignal **54** als einen Prozentwert des gemessenen Bereichs und der tatsächlichen Ventilposition P_i als einen Prozentbereich:

$$P_s = F_c(S_p) \quad (3a)$$

und umgekehrt:

$$S_p = F_c^{-1}(P_s) \quad (3b)$$

[0057] Wenn zum Beispiel die Steuerung ein Eingangssignal **54** für einen Einstellpunkt S_p von 50% ausgibt, dann konvertiert die Steuerung das Signal mittels der Charakterisierungsfunktion F_c in eine charakterisierte Position P_s , die 15 offen sein kann und eine 50% Strömungsrate hat.

[0058] In Schritt **152** wird eine anfängliche Position P_i des Ventils **10** gemessen. Wenn in Schritt **154** der Mikroprozessor **18** einen Befehl empfängt, um den stoßfreien Übergang zu beseitigen, dann geht die Ausführung

weiter zu Schritt **156**, wo die Steuerung zur manuellen Betriebsart zurückkehrt. Anderenfalls wird in Schritt **160** eine gewünschte Position für die automatische Betriebsart empfangen und in einen Einstellpunktpositionswert S_p konvertiert, der die gewünschte Position als einen Prozentwert von vordefinierten Kalibrierungsgrenzen darstellt. In Schritt **162** wird eine charakterisierte Position P_s , die dem Positionswert S_p entspricht, berechnet.

[0059] Wenn in Schritt **164** die Differenz (absoluter Wert) zwischen P_i und P_s keiner ist als eine vordefiniert Grenze "L1", dann geht in Schritt **166** der Betrieb in die automatische Betriebsart. Anderenfalls geht die Ausführung weiter zu Schritt **168**, wo die Steuerung den Benutzer informiert, wie beispielsweise auf dem Display **52**, um es dem Benutzer zu ermöglichen, zu sehen, in welchem Ausmaß der Positionseinstellpunkt verändert werden muss, um die aktuelle Ventilposition anzupassen. Die Steuerung kann dem Benutzer zusätzliche Informationen zur Verfügung stellen, um den Positionseinstellpunkt einzustellen.

[0060] In einem alternativen Ausführungsbeispiel kann der Positionierer **12** aktuell das Ventil **10** einstellen oder das AUS-Signal **12** selbst einstellen, und zwar ohne Eingriff durch den Benutzer. Der Benutzer kann diese Funktionalität vorauswählen, oder er kann benachrichtigt werden, nachdem das Ventil bewegt wurde.

Verfahren zum Verhindern, dass die Steuerroutine nach dem Hochfahren ausfällt

[0061] Das Schieberventil **24** kann entweder Luft **32** in das Betätigungsmittel **26** füllen oder aus diesem herauslassen. Das Schieberventil **24** wird mit einem pneumatischen Druck gesteuert, der von dem I/P-Wandler **22** kommt, der durch das AUS-Signal gesteuert wird. Ein Signalversatzwert, bezeichnet als "BIAS", kann zu dem I/P-Wandler **22** gesendet werden, um das Schieberventil **24** in der mittleren Position anzuordnen, so dass das Betätigungsmittel **26** weder gefüllt wird noch ausstößt. Der Wert von BIAS variiert von Betätigungsmittel zu Betätigungsmittel und variiert in dem gleichen Betätigungsmittel mit der Temperatur und anderen Betriebsbedingungen. Während des normalen Betriebs des Positionierers **12** findet eine Steuerroutine (nicht gezeigt), die in der Steuerung abläuft, das BIAS und behält dessen Spur.

[0062] Es treten häufig Probleme auf, wenn die Steuerung das BIAS konstant einstellt, um es korrekt zu halten. Wenn beispielsweise das Ventil in einer bestimmten Position fest sitzt (wenn z.B. in dem Ventil ein Hindernis vorhanden ist oder mit der Luft **32** ein Problem besteht), dann versucht die Steuerung das Ventil erfolglos zu bewegen. Durch den Versuch das Ventil zu bewegen, stellt die Steuerung kontinuierlich das BIAS in Richtung Null. Wenn sich das Ventil **10** löst, dann ist das BIAS (das bei oder nahe Null liegt) falsch. Die Steuerung muss dann das BIAS in seine korrekte Position einstellen, was eine lange Zeit dauern kann. Als ein Ergebnis bleibt das Ventil **10** für eine längere Zeitdauer geschlossen, bevor das BIAS korrigiert ist.

[0063] In Reaktion auf Probleme wie diese, überwacht die vorliegende Erfindung auf intelligente Weise das BIAS und stellt dieses ein. Wenn sich die tatsächliche Ventilposition signifikant von der gewünschten Ventilposition unterscheidet, dann wird das BIAS nicht eingestellt. Außerdem, wenn sich das Ventil **10** an einem Endpunkt befindet (geöffnet oder geschlossen), dann wird das BIAS nicht eingestellt.

[0064] Außerdem behält die Steuerung einen Langzeitdurchschnitt (BIAS-Durchschnitt) von dem BIAS bei, so dass es für eine lange Zeitperiode relativ konstant bleibt. Wenn das BIAS nicht korrekt eingestellt wird, dann findet dies vermutlich bei einem anderen Wert statt als bei dem BIAS-Durchschnitt. Wenn dann die Steuerung sieht, dass das BIAS in Richtung auf dem BIAS-Durchschnitt eingestellt ist, kann sie das BIAS sehr schnell einstellen.

[0065] Wenn das Ventil **10** während einer vordefinierten Zeit um nicht mehr als einen vordefinierten Betrag bewegt wurde und wenn sich die Ventilposition nicht in der Nähe ihres möglichen Verfahrensweges (vollständig geöffnet oder geschlossen) befindet, dann berechnet die Steuerung einen neuen BIAS-Wert als:

$$\text{neu BIAS} = \text{alt BIAS} + C \cdot (\text{aktuelle Position} - \text{eingestellte Position}) \quad (4)$$

wobei C eine vordefinierte Konstante ist, die durch die Steuerung modifizierbar ist.

[0066] Wenn jedoch das Ventil **10** an einer Bewegung in die Position gehindert ist, die durch Gleichung 4 angeordnet wird, dann erhöht oder vermindert die Steuerung das BIAS weg von dem korrekten Wert, wenn das Ventil nicht behindert wird, wobei das Ventil in eine falsche Position bewegt wird. Um diesen Fehler zu vermeiden, implementiert die Steuerung eine BIAS-Analyse gemäß den nachfolgend gezeigten Gleichungen 5–7:

wenn Ventilposition $> L_{\text{niedriger}}$ und
 Ventilposition $< L_{\text{höher}}$ und
 $|\text{Positionsfehler}| < L_{\text{Fehler}}$
 dann $\text{BIAS-Durchschnitt} = \text{BIAS} \cdot T +$
 $\text{BIAS-Durchschnitt} \cdot (1 - T)$ (5)

[0067] $L_{\text{niedriger}}$, $L_{\text{höher}}$ und L_{Fehler} sind vordefinierte Grenzwerte, um eine Durchschnittsbildung zu verhindern, wenn sich das Ventil nahe der geöffneten oder geschlossenen Position befindet oder sich bewegt, und T ist eine Konstante, die verwendet wird, um das BIAS über eine lange Zeitperiode zu mitteln. Positionsfehler ist gleich dem aktuellen Einstellpunkt minus der gemessenen Position.

wenn $\text{BIAS} > (\text{BIAS-Durchschnitt} + C2)$ und
 Positionsfehler $< -E$
 dann $\text{BIAS} = \text{BIAS-Durchschnitt} + C2$. (6)

wobei E und C2 Fehlergrenzen sind, die durch die Steuerung definiert sind. Die Wirkung von Gleichung 6 besteht darin, das BIAS schnell in Richtung auf den Durchschnittswert zu bewegen, wenn der Positionsfehler angibt, dass das BIAS in diese Richtung bewegt werden sollte.

wenn $\text{BIAS} > (\text{BIAS-Durchschnitt} - C2)$ und
 Positionsfehler $> E$
 dann $\text{BIAS} = \text{BIAS-Durchschnitt} - C2$ (7)

Ventilbetätigungsmittelsignaturprozedur, die in einem Positionierer eingebettet ist

[0068] Mit dem Ventil **10** steht eine Ventilsignatur in Beziehung. Der Zweck der Ventilsignaturmessung besteht darin, die Reibung und die Hysterese des Ventils zu berücksichtigen. Die Signatur dient somit als ein Diagnosewerkzeug, das Probleme identifizieren kann, wie z.B. eine gebrochene Feder oder hohe Reibung.

[0069] Eine Signaturmessung wird für jede Bewegungsrichtung (öffnen oder schließen) des Ventils durchgeführt. Jedoch ist es bei Verwendung des Positions-Rückkopplungssignals **42** möglich, um das Ventil **10** zu positionieren, dass das Ventil überschwingt, und somit ist die Bewegungsrichtung nicht immer die gleiche Richtung. Beispielsweise besteht ein herkömmlicher Weg zum Messen der Ventilsignatur darin, das Ventil auf 15% einzustellen und ihm dann ein Signal zu geben, um auf 20% zu gehen. Wenn das Ventil von 15% auf 20% bewegt wird, kann es sich öffnen, bis es 21% erreicht, und sich dann schließen, um 20% zu erreichen. Als Folge bewegt sich das Ventil sowohl in Öffnungs- als auch in Schließrichtung. Diese Veränderung hinsichtlich der Richtung stört die durchgeführten Ventilsignaturmessungen.

[0070] Die vorliegende Erfindung basiert nicht auf Positions-Rückkopplung, um die Ventilsignatur zu erhalten. Stattdessen ist es lediglich durch Steuerung des Drucks möglich, dieses Problem zu überwinden und eine genauere Ventilsignatur zu erhalten. Wenn mit dem obigen Beispiel fortgefahren wird, dann wird das Ventil auf 15% positioniert, und die Positionssteuerung wird ausgeschaltet. Dann wird der Druck langsam erhöht. Nun, da es keine Positions-Rückkopplung gibt, kann das Ventil nicht überschwingen und die Richtungen wechseln. Stattdessen kann es lediglich in eine Richtung gehen. Position und Druck werden während dieser Zeit konstant abgetastet.

[0071] In einem Ausführungsbeispiel kann die Steuerung in eine Diagnosebetriebsart gestellt werden, und die Ventilsignatur kann über einen langen Bereich der Ventilbewegung gemessen werden. In einem alternativen Ausführungsbeispiel kann die Steuerung während des Betriebs einen begrenzten Bereich der Ventilbewegung erlauben. In diesem alternativen Ausführungsbeispiel, wenn das Ventil beispielsweise auf 45% eingestellt ist, kann die Steuerung das Ventil zwischen 40% und 50 bewegen, um während des Betriebs die Ventilsignatur zu erhalten.

[0072] Unter Bezugnahme auf [Fig. 6a](#) stellt die Positionssteuerungsroutine **200** ein genaues Verfahren zur Verfügung, um die Ventilsignaturmessung zu erhalten. In Schritt **202** wird der BIAS-Wert bestimmt. Drei alternative Verfahren zur Bestimmung von BIAS werden weiter unten unter Bezugnahme auf [Fig. 7a-Fig. 7c](#) beschrieben. Wenn das BIAS gefunden wurde, dann wird das Ventil **10** in Schritt **204** auf eine Startposition eingestellt, indem die automatische Betriebsart den Druck des Betätigungsmittels **26** einstellen kann.

[0073] In Schritt **206** wartet die Steuerung, bis das Ventil **10** an der Startposition stabil ist, indem der Druck

(durch das Druck-Rückkopplungssignal **40**) und/oder die Position (durch das Positions-Rückkopplungssignal **42**) überwacht werden, bis sich der Wert um weniger als einen vorbestimmten Wert verändert. In Schritt **208** wird die automatische Positionierung angehalten. In Schritt **210** wird das Signal zu dem I/P-Wandler **22** auf den BIAS-Wert eingestellt. In Schritt **212** wird das Signal zu dem I/P-Wandler **22** auf das BIAS plus ein vorbestimmter Wert V1 eingestellt. Der Wert V1 kann ein Parameter sein, der von dem Benutzer eingegeben wird, durch ein Programm vordefiniert ist, aus der Größe des Ventils bestimmt wird, oder durch Testen der Ventilantwort bestimmt wird.

[0074] In Schritt **214** werden die Ventilposition und der Druck des Betätigungsmittels mit einer vorbestimmten Rate abgetastet und im nichtflüchtigen Speicher **48** gespeichert. Dies wird als "Druck über Position Datensatz-Erhöhen" bezeichnet. Wenn bei Schritt **216** die Position in einem vordefinierten Testbereich liegt, kehrt die Durchführung zurück zu Schritt **214**. Andererseits wird bei Schritt **218** die automatische Positionierung erneut gestartet, und die Ventilposition wird auf die Endposition eingestellt.

[0075] In Schritt **220** wartet die Steuerung, bis das Ventil an der Endposition stabil ist, und zwar durch Untersuchung von entweder dem Druck oder der Position, bis sich das Ventil über weniger als einen vorbestimmten Betrag verändert. In Schritt **222** wird eine automatische Positionierung angehalten. In Schritt **224** wird das Signal zu dem I/P-Wandler **22** auf den BIAS-Wert eingestellt. In Schritt **226** wird das Signal zu dem I/P-Wandler **22** auf den BIAS-Wert minus ein wert eingestellt, der durch einen anderen vorbestimmten Wert V2 bestimmt wird. Der Wert V2 kann gleich dem Wert V1 sein, oder er kann ein Parameter sein, der von dem Benutzer eingegeben wird, der durch das Programm vordefiniert ist, der aus der Größe des Ventils **10** bestimmt wird oder der durch Testen der Ventilantwort bestimmt wird.

[0076] In Schritt **228** werden die Ventilposition und der Druck des Betätigungsmittels mit einer vorbestimmten Rate abgetastet und im nichtflüchtigen Speicher **48** gespeichert. Dies wird als "Druck über Position Datensatz-Vermindern" bezeichnet. Wenn in Schritt **230** die Position in dem Testbereich liegt, dann kehrt die Durchführung zurück zu Schritt **228**. Anderenfalls wird in Schritt **232** die automatische Positionierung neu gestartet, und die Ventilposition wird auf die Endposition eingestellt.

[0077] In Schritt **234** werden die Daten analysiert, und zwar durch:

1. Berechnen des Federbereichs durch Anpassen der beiden Druck über Position Datensätze mit geraden Linien und Berechnen, wo sie die 0- und 100-Prozentposition kreuzen. Der Federbereich ist der Durchschnitt der Werte, die aus den beiden Linien bestimmt werden. Lediglich die Daten, in denen die Position zwischen etwa 10% und 90% liegt, werden verwendet.
2. Berechnen der Reibung bei einer gegebenen Position durch Interpolieren der Druck über Position Datensätze. Die Reibung beträgt das 0,5-fache des absoluten Wertes der Differenz zwischen dem Druck, der aus dem Druck über Position Datensatz-Erhöhen und dem Druck über Position Datensatz-Vermindern bestimmt wird.

[0078] In Schritt **236** werden die "Druck über Position Daten", die Federbereichsdaten und die Reibungsdaten in einem nichtflüchtigen Speicher gespeichert. Die "Druck über Position Daten", die Federbereichsdaten und die Reibungsdaten können optional an einen anderen Prozessor (nicht gezeigt) gesendet werden, der mit dem Positionierer **12** verbunden ist. Alternativ oder zusätzlich können die "Druck über Position Daten" und die Ergebnisse der Analyse der Daten auf dem Display **52** angezeigt werden.

[0079] Unter Bezugnahme auf [Fig. 7a-Fig. 7c](#) findet eine Routine, die in dem Mikroprozessor **18** läuft, während des normalen Betriebs des Positionierers **12** den BIAS-Wert und hält dessen Spur. Drei alternative Routinen werden nun detailliert beschrieben.

[0080] Unter spezieller Bezugnahme auf [Fig. 7a](#) kann die erste Routine **250** verwendet werden, um den BIAS-Wert zu finden. In Schritt **252**, beim Starten des Positionierers **12**, wird das BIAS auf einen vorbestimmten Wert V3 gesetzt, der in dem nichtflüchtigen Speicher **48** gespeichert ist. Der Wert V3 kann ein Wert sein, der aus einer vorhergehenden Operation gespeichert wurde. In Schritt **254** erfolgt eine Bestimmung, ob sich das Ventil **10** über mehr als einen vorbestimmten Betrag während einer vorbestimmten Zeit bewegt hat. Wenn dies der Fall ist, dann wartet die Routine **250**, bis sich das Ventil stabilisiert hat. Wenn sich das Ventil stabilisiert hat, dann erfolgt in Schritt **256** eine Bestimmung, ob sich die Ventilposition in der Nähe ihres möglichen Verfahrweges befindet. Wenn dies der Fall ist, dann kehrt die Durchführung zurück zu Schritt **254**. Anderenfalls kehrt die Durchführung zurück zu Schritt **258**. In Schritt **258** wird ein neuer BIAS-Wert gemäß der obigen Gleichung **4** berechnet.

[0081] Unter spezieller Bezugnahme auf [Fig. 7b](#) kann auch eine zweite Routine **260** verwendet werden, um den BIAS-Wert zu finden. In Schritt **262** wird beim Starten des Positionierers **12** das AUS-Signal auf seinen geringsten Wert eingestellt. Dieser Signalwert wird gespeichert und als "vorhergehendes Signal" bezeichnet. In Schritt **264** wird ein vordefinierter Wert zu dem AUS-Signal addiert. Dieser Signalwert wird gespeichert und als "aktuelles Signal" bezeichnet. Der Positionierer **12** wartet dann eine vordefinierte Zeit. In Schritt **266** misst der Prozessor **18** den Druck des Betätigungsmittels **26** durch das Drucksignal **40**. In Schritt **268** erfolgt eine Bestimmung, ob der Druck um mehr als einen vordefinierten Wert angestiegen ist. Wenn nicht, dann wird das aktuelle Signal als das vorhergehende Signal gespeichert, und die Durchführung kehrt zu Schritt **264** zurück. Anderenfalls wird der BIAS-Wert berechnet:

$$\text{neues BIAS} = (\text{aktuelles Signal} + \text{vorhergehendes Signal})/2 \quad (8)$$

[0082] Der neue BIAS-Wert wird im nichtflüchtigen Speicher **48** gespeichert.

[0083] Unter spezielle Bezugnahme auf [Fig. 7c](#) kann auch eine dritte Routine **280** verwendet werden, um den BIAS-Wert zu finden. In Schritt **282** ist das Ventil **10** an einer Position innerhalb von 10% von den äußeren Grenzen seines Verfahrensweges positioniert. Diese Position wird als "mittlere Testposition" bezeichnet. Außerdem wird eine "niedrige Testposition" als die mittlere Testposition minus einer Konstanten definiert, und "eine obere Testposition" ist als die mittlere Testposition plus einer Konstanten definiert. In Schritt **284** wird ein Startwert für das BIAS aus entweder einem vorhergehend gespeicherten Wert in dem nichtflüchtigen Speicher **48** oder dem voreingestellten BIAS-Wert aus Schritt **252** ([Fig. 7a](#)) gewählt. Außerdem wird eine BIAS-Inkrementieren-Konstante "INC" definiert.

[0084] In Schritt **286** misst der Prozessor **18** die Position aus dem Positions-Rückkopplungssignal **42** und den Druck aus dem Drucksignal **40**. In Schritt **288** wird die automatische Positionierung angehalten. In Schritt **290** wird die Ausgabe von dem I/P-Wandler **22** auf den BIAS-Wert eingestellt. In Schritt **292** wartet der Prozessor **18** für eine vordefinierte Zeitperiode und misst dann erneut die Position und den Druck. Die Druckveränderung wird gespeichert.

[0085] Wenn in Schritt **294** die Druckänderung in einer anderen Richtung vorliegt als die letzte Druckänderung, dann wird in Schritt **296** die Inkrementieren-Konstante INC halbiert. Wenn in Schritt **298** die neue Inkrementieren-Konstante INC kleiner ist als das kleinste erlaubte Inkrementieren, dann geht die Durchführung weiter zu Schritt **300**, wo die automatische Positionierung eingeschaltet und der BIAS-Wert im nichtflüchtigen Speicher **48** gespeichert wird. Bei einer negativen Bestimmung von entweder Schritt **294** oder Schritt **298**, geht die Durchführung weiter zu Schritt **302**.

[0086] In Schritt **302** erfolgt eine Bestimmung, ob der Druck gesunken ist. Wenn dies der Fall ist, dann wird in Schritt **304** BIAS um die Konstante INC inkrementiert. Die Ausführung geht dann weiter zu Schritt **306**, wo eine Bestimmung erfolgt, ob der Druck angestiegen ist. Wenn dies der Fall ist, dann wird in Schritt **308** BIAS um die Konstante INC dekrementiert. Die Ausführung geht dann weiter zu Schritt **310**.

[0087] In Schritt **310** erfolgt eine Bestimmung, ob die Position unter einem vorbestimmten unteren Grenzwert oder über einem vorbestimmten oberen Grenzwert liegt. Wenn dies der Fall ist, dann wird in Schritt **312** das AUS-Signal auf einen Wert eingestellt, der eine Ventilbewegung zwischen der unteren Testposition und der oberen Testposition garantiert. Das AUS-Signal ist ein niedriger Wert oder ein hoher Wert, abhängig von dem Typ des Ventils (Luft zum Öffnen oder Luft zum Schließen) und der Wirkung des Positionierers (direkt oder umgekehrt). Die Durchführung geht dann weiter zu Schritt **314**, wo das AUS-Signal auf das neue BIAS eingestellt wird, und die Durchführung kehrt zu Schritt **292** zurück.

[0088] Für jede der obigen drei Finde BIAS-Routinen **250**, **260**, **280** wird auf einer periodischen Basis oder durch einen digitalen Befehl das neue BIAS in dem nichtflüchtigen Speicher **48** zur Verwendung beim Starten gespeichert.

Ventildiagnose über einen begrenzten Positionsbereich

[0089] Herkömmlicherweise werden Ventildiagnosen durchgeführt, wenn ein Ventilpositionierungsprozess nicht läuft oder das Ventil umgangen wurde. Im Gegensatz dazu bietet die vorliegende Erfindung Ventildiagnosen, einschließlich eines Ventilsignaturtests und eines Schrittantworttests, die laufen können, während der Positionierungsprozess läuft. Speziell laufen die Tests über einen begrenzten Positionsbereich, so dass sie für

die Vorhersage von Ventilproblemen verwendet werden können, bevor diese auftreten und bevor der automatische Positionierungsprozess angehalten werden muss.

[0090] Unter Bezugnahme auf [Fig. 8](#) kann ein Ventilsignaturtest **350** durchgeführt werden, während das Ventil **10** betätigt wird. In Schritt **352** wird der BIAS-Wert gefunden (z.B. unter Verwendung der obigen Finde BIAS-Routinen **250, 260, 280**). In Schritt **354** wird das Ventil **10** auf eine Startposition des Tests eingestellt, indem eine Einstellung des Betätigungsmitteldrucks durch die automatische Positionierung erlaubt wird. In Schritt **356** wartet der Positionierer **12**, bis das Ventil **10** an der Startposition stabil ist, indem der Druck über das Drucksensorsignal **40** und/oder die Position über das Positions-Rückkopplungssignal **42** untersucht wird, bis die Wertveränderungen kleiner sind als ein vorbestimmter Wert. In Schritt **358** wird die automatische Positionierung angehalten. In Schritt **360** wird das AUS-Signal auf den BIAS-Wert eingestellt. In Schritt **362** wird das AUS-Signal auf den BIAS-Wert plus ein vorbestimmter Wert V4 eingestellt. Der vordefiniert Wert V4 kann ein Parameter sein, der von einem Benutzer eingegeben wird, durch das Programm vordefiniert ist, aus der Größe des Ventils bestimmt wird oder durch Testen der Ventilantwort bestimmt wird.

[0091] In Schritt **364** werden die Position und der Druck des Betätigungsmittels mit einer vorbestimmten Rate abgetastet. Diese Daten, als "Druck über Position Datensatz-Erhöhen" bezeichnet, werden im Speicher gespeichert. In Schritt **366**, wenn sich die Position des Ventils in dem Testbereich befindet, kehrt die Durchführung zu Schritt **364** zurück. Anderenfalls wird in Schritt **368** die automatische Positionierung neu gestartet, und die Position des Ventils wird auf die Endposition eingestellt. In Schritt **370** wartet der Positionierer **12**, bis das Ventil **10** an der Endposition stabil ist, indem entweder der Druck oder die Position überwacht wird, bis die Wertveränderungen kleiner als ein vorbestimmter Wert sind.

[0092] In Schritt **372** wird die Positionierung angehalten. In Schritt **374** wird das AUS-Signal auf das BIAS eingestellt. In Schritt **376** wird das AUS-Signal auf den BIAS-Wert minus dem vorbestimmten Wert V4 eingestellt. In Schritt **378** werden die Position und der Betätigungsmitteldruck mit einer vorbestimmten Rate abgetastet. Diese Daten, als "Druck über Position Datensatz-Vermindern" bezeichnet, werden im Speicher gespeichert.

[0093] In Schritt **380** erfolgt eine Bestimmung, ob die Position innerhalb des Testbereichs liegt. Wenn dies der Fall ist, kehrt die Durchführung zurück zu Schritt **378**. Anderenfalls wird in Schritt **382** die Positionierung neu gestartet, und die Position wird auf die Endposition eingestellt.

[0094] Bei Beendigung des Ventilsignaturtests **350** können die gespeicherten Daten analysiert werden. Ganz zuerst kann der Federbereich (für Feder **66**) berechnet werden, indem zwei Druck über Position Datensätze (Erhöhen und Vermindern) mit geraden Linien ausgedruckt werden und berechnet wird, wo sie die 0- und 100-Prozentpositionen kreuzen. Der Federbereich ist der Mittelwert der Werte, die aus den beiden Linien bestimmt werden. Nur die Positionsdaten zwischen 10% und 90% werden verwendet.

[0095] Außerdem kann die Ventilreibung an einer gegebenen Position durch Interpolation der Druck über Position Datensätze berechnet werden. Diese Reibung ist halb so groß wie der absolute Wert der Differenz zwischen dem Druck, der aus dem Druck über Position Datensatz-Erhöhen und dem Druck über Position Datensatz-Vermindern bestimmt ist. Die Druck über Position Daten, die Federbereichsdaten und die Reibungsdaten können in dem nicht-flüchtigen Speicher **48** gespeichert werden, können digital zu einem externen Prozessor gesendet werden, der mit dem Positionierer **12** verbunden ist, oder können graphisch auf dem Display **52** gezeigt werden.

[0096] Unter Bezugnahme auf [Fig. 9](#) kann ein Schrittantworttest **400** auch dann durchgeführt werden, während das Ventil **10** betrieben wird. In Schritt **402** wird das Ventil **10** auf eine Startposition eingestellt, indem es der automatischen Positionierungsroutine ermöglicht wird, den Betätigungsmitteldruck einzustellen. In Schritt **404** wartet der Positionierer **12**, bis das Ventil an der Startposition stabil ist, indem entweder der Druck über das Drucksensorsignal **40** und/oder die Position über das Positions-Rückkopplungssignal **42** untersucht wird, bis sich der Wert um weniger als einen vorbestimmten Wert verändert.

[0097] In Schritt **406** erfolgt eine Bestimmung, ob eine vordefinierte Zeit T_T der Positionsabtastung abgelaufen ist. Wenn dies der Fall ist, dann wird die Routine angehalten. Andererseits wird in Schritt **408** die Position mit einer feststehenden Rate abgetastet, und die entsprechende Zeit und die Position werden in einem Speicher gespeichert. In Schritt **410** erfolgt eine Bestimmung, ob eine andere zwischenliegende Zeit T_S abgelaufen ist. Wenn dies der Fall ist, dann befiehlt der Positionierer **12** in Schritt **412** die automatische Positionierungsroutine, das Ventil in die Endposition zu bewegen, und die Durchführung kehrt zu Schritt **404** zurück. Anderenfalls kehrt die Durchführung zu Schritt **406** zurück.

[0098] Wenn der Schrittantworttest **400** beendet ist, oder zwischenzeitlich während des Tests, können die gemessenen Daten in dem nichtflüchtigen Speicher **48** gespeichert werden, können digital zu einem externen Prozessor gesendet werden, der mit dem Positionierer **12** verbunden ist, oder können graphisch auf dem Display **52** dargestellt werden.

Ventilantwort-Rückkopplung um die Prozessorsteuerung

[0099] Wenn ein Programm in dem Positionierer **12** läuft, dann liefert der Positionierer eine Rückkopplung an einen Benutzer, die die Ventilantwort angibt. Dem Benutzer wird eine visuelle Rückkopplung des Ventilbetriebs gegeben, die einfach zu identifizieren, zu verstehen und zu diagnostizieren ist. Wenn beispielsweise das Ventil **10** bei 15% liegt (unter der Annahme, dass das Ventil eine gleiche Prozentsatzcharakterisierung hat), und die Steuerung ein Signal sendet, um auf 50% zu bewegen, dann wird das Ventil entsprechend bewegt. Der Positionierer **12** zeigt eine Graphik auf dem Display **52**, die sowohl die Ventilposition P_{akt} als auch die charakterisierte Position P_s angibt. Die Charakterisierungsfunktion F_c definiert die Beziehung zwischen dem Eingangssignal (Eingangssignal **54**) als ein Prozentsatz des gemessenen Bereichs und der gewünschten Ventilposition als ein Prozentsatz des Bereichs gemäß den obigen Gleichungen 3a und 3b. Idealerweise sollten die Position P_{akt} und die charakterisierte Position P_s immer zusammenpassen. Falls nicht, dann ist mit dem Ventil etwas falsch. Es ist gewünscht, Daten graphisch anzuzeigen, die den Benutzer dabei unterstützen zu erfahren, wann das Ventil **10** korrekt arbeitet.

[0100] Unter Bezugnahme auf [Fig. 10a](#) kann zwecks eines Beispiels ein Fenster **450** auf dem Display **52** angezeigt werden. Ein Ventileinstellpunkt S_p von 50,5% ist gewünscht. Das Fenster enthält eine Graphik **452**, die einen Ventilpositionswert **454** aus dem Positions-Rückkopplungssignal **42** und der charakterisierten Ventilposition **456** (P_s) zeigt. Die charakterisierte Ventilposition **456** wird durch die Charakterisierungsfunktion F_c von dem Ventileinstellpunkt bestimmt (siehe Gleichung 3a). Durch Verwendung des charakterisierten Positionswertes **456** können die Werte **454** und **456** unter Verwendung des gleichen Maßstabs ausgedruckt werden, und wenn sie sich in Ausrichtung befinden, kann der Benutzer schnell und einfach bestimmen, ob das Ventil korrekt arbeitet.

[0101] Unter Bezugnahme auf [Fig. 10b](#) kann in einem anderen Beispiel ein Fenster **460** auf dem Display **52** gezeigt werden. Das Fenster enthält eine Graphik **462**, die die Strömungsrate in Kubikfuß pro Minute (cfm) angibt. Eine Strömungsrate von 43,07 cfm ist gewünscht. Eine zweite Graphik **462** zeigt einen Steuerungsausgabewert **468** (S_p) und einen inversen charakterisierten Ventilpositionswert **470**. Der inverse charakterisierte Ventilpositionswert **470** wird durch die inverse Charakterisierungsfunktion F_c^{-1} des Positions-Rückkopplungssignals **42** bestimmt (siehe Gleichung 3b). Durch Verwendung des inversen charakterisierten Positionswertes **470** anstelle der aktuellen Ventilposition, die durch den Rückführungssensor **46** bereitgestellt wird, können die Werte **468** und **470** unter Verwendung des gleichen Maßstabs gedruckt werden, und wenn sie sich in Ausrichtung befinden, kann der Benutzer schnell und einfach bestimmen, ob das Ventil korrekt arbeitet.

Ventil-Positionierer mit automatischer Kompensation für Schaftverdrehung

[0102] Unter Bezugnahme auf [Fig. 11](#) ist ein Ausführungsbeispiel von dem Ventil **10** gezeigt, das einen Schaft **486** aufweist, um den sich ein Kolben **62** dreht. Das Ventil **10** ist beispielhaft als ein sich durch Strömung öffnendes Ventil gezeigt, es soll aber verstanden werden, dass auch andere Typen von Ventilen verwendet werden können. Zwei Drücke P_1 und P_2 sind angegeben, wobei Druck P_1 vor dem Ventil **10** vorherrscht und Druck P_2 hinter dem Ventil vorherrscht. Wegen einer Druckdifferenz ($P_1 - P_2$) des Fluids über den Ventilkolben **62** kann es eine Differenz zwischen der gewünschten Position des Ventilkolbens und der aktuellen Position des Ventilkolbens infolge einer Verdrehung des Ventilschafts geben. Die verlagerte Position des Ventilkolbens **62** ist durch die gestrichelte Linie des Kolbens **488** dargestellt. Es ist insbesondere nicht erwünscht, wenn das Ventil **10** nahezu geschlossen ist und/oder sich die Druckdifferenz $P_1 - P_2$ bei ihrem Maximum befindet, wodurch der verwendbare Steuerungsbereich des Ventils begrenzt wird. Außerdem, da der Positionssensor **46**, der in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ein Potentiometer ist, am Ventilschaft **486** misst, kann er keine korrekte Position darstellen, wobei diese korrekte Position insbesondere dann kritische ist, wenn das Ventil **10** nahezu geschlossen ist.

[0103] Anfänglich ist der Positionierer **12** kalibriert, wobei keine Prozesskräfte auf den Ventilkolben **62** wirken. Die Kolbenposition über den Betätigungsmitteldruck wird durch Berechnung der Verlagerung bestimmt;

$$\text{Verlagerung} = F_D(\text{Betätigungsmitteldruck}) \quad (9)$$

[0104] F_D (Betätigungsmitteldruck) kann experimentell bestimmt werden, und die Funktion kann durch den Mikroprozessor **18** durchgeführt werden. Das auf den Ventilschaft **486** wirkende Drehmoment ist direkt proportional zu dem Betätigungsmitteldruck. Außerdem ist ein Gradient für den Schaft **486** in der Funktion F_D fakturiert.

[0105] Beispielsweise kann eine Tabelle mit getesteten Werten in einem nichtflüchtigen Speicher **48** gespeichert werden. Für einen gegebenen Ventiltyp, Größe und Strömungsrichtung wird der Gradient (Winkelverlagerung über Ventilkolbenkraft) bestimmt. Die Differenz zwischen dem Druck unter Null-Last und aktueller Last, dividiert durch den Gradienten, ist proportional zur Verdrehung.

[0106] Wenn die Funktion F_D bestimmt wird, dann basiert die Position des Ventilschafts **468** korrekt auf der geschätzten Verdrehung entsprechend der folgenden Gleichung:

$$\text{wahre Position} = \text{Positions-Rückkopplungssignal (42)} + F_D(\text{Betätigungsmitteldruck}) \quad (10)$$

[0107] Als Ergebnis wird durch die vorliegende Erfindung eine Verdrehung des Ventilschafts **486** kompensiert, wie diese durch Prozessfluidkräfte entsteht, die auf den Ventilkolben **62** wirken. Diese Verdrehung, die eine Differenz zwischen der an einem Ende des Schaftes gemessenen Position und der tatsächlichen Position des Ventilkolbens bewirkt, würde andererseits ungenaue Positionsmessungen bewirken.

Nicht-lineare umfassende Ventilpositionssteuerroutine

[0108] Normalerweise ist das Steuerventil **10** ein nicht-lineares asymmetrisches System. Es kann beispielsweise gewünscht sein, das Ventil bei 10% zu positionieren. In Fortsetzung des Beispiels hat die Luftzufuhr **32** einen Zufuhrdruck von 20 psi und einen Betriebsbereich von 3 bis 16 psi. Vier psi sind erforderlich, damit das Betätigungsmittel **26** das Ventil **10** bei 10% einstellt. Da der Zufuhrdruck für die Luftzufuhr **32** bei 20 psi liegt, herrscht eine antreibende Kraft für das Betätigungsmittel in der Höhe von 16 psi (20 psi – 4 psi).

[0109] Als ein Ergebnis wird das Ventil aufgrund der großen antreibenden Kraft sehr schnell geöffnet.

[0110] Es wird mit dem Beispiel fortgefahren, wobei 14 psi erforderlich sind, damit das Betätigungsmittel **26** das Ventil **10** bei 90% positioniert. Die antreibende Kraft für dieses Szenario beträgt 6 psi (20 psi – 14 psi). Als Ergebnis öffnet das Ventil sehr langsam, und zwar aufgrund der kleinen antreibenden Kraft. Dies ist nur ein Beispiel wie und warum das Steuerventil **10** nicht-linear ist.

[0111] Wenn eine lineare Steuerung hinsichtlich des Ventils **10** implementiert werden soll, dann ist die Ventilleistung inkonsistent. Ein Steueralgorithmus, wie beispielsweise jener der vorliegenden Erfindung, kompensiert die Nicht-Linearitäten, um eine gleichmäßige Leistung über einen breiten Bereich von Positionen zu erreichen (von 0 bis 100%). Der Steueralgorithmus stellt drei Verfahren bereit, um die Nicht-Linearitäten des Steuerventils **10** zu kompensieren und eine konstante Schleifenverstärkung K bereitzustellen. Die Verstärkung K für die Steuerung ist die gesamte Dauerzustandsverstärkung und das Verhältnis der Veränderung der Dauerzustandsausgabe zu einer Schrittänderung am Eingang. Zuerst werden zwei separate zwischenliegende Dauerzustandsverstärkungen verwendet. Jede separate Dauerzustandsverstärkung ist ein Verhältnis, das in dem I/P-Wandler **22** verwendet wird, wenn das AUS-Signal in das Luftsignal für das Schieberventil **24** konvertiert wird. Eine Verstärkung P_F wird verwendet, wenn das Betätigungsmittel **26** gefüllt wird, und eine andere Verstärkung P_E wird verwendet, wenn das Betätigungsmittel ausstößt.

[0112] Zweitens, eine einstellbare Verstärkung β für die Steuerung zieht Positionsfehler in Betracht, die aus Veränderungen in der Bewegung in der Membran (nicht gezeigt) des Betätigungsmittels **26** resultieren, die mit der Richtung und mit der Position variieren (z.B. nahezu geschlossen über nahezu geöffnet).

[0113] Drittens, ein Positionskompensationsfaktor γ für die Steuerung zieht Veränderungen in dem Luftvolumen des Betätigungsmittels **26** in Betracht, der ein unterschiedliches Verhalten des Betätigungsmittels bewirkt. Ein Koeffizient γ_E wird verwendet, um zu kompensieren, wenn die Luft ausgestoßen wird, und ein Koeffizient γ_F wird verwendet, um zu kompensieren, wenn Luft eingefüllt wird.

[0114] Unter Bezugnahme auf [Fig. 12](#) verwendet eine Ventilpositionssteuerroutine **500** die separaten Verstärkungen P_F , P_E für beide Bewegungsrichtungen des Ventils **10**, wendet die einstellbare Verstärkung β an, um sowohl Fehlergrößen-bezogene und Ventilpositions-bezogenen Nicht-Linearitäten zu kompensieren, und wendet den Positionskompensationsfaktor γ an, um eine einstellbare Totzone zur Verfügung zu stellen, um die

Festsitzen-/Rutsch-Probleme des Ventils zu überwinden. Ein Dämpfungskoeffizient wird ebenfalls zur Einstellung der von Kunden gewünschten Ventilantwortgeschwindigkeit verwendet, und eine integrierte Steuerung ist in die Routine integriert, um Dauerzustandspositionsfehler und Hysterese zu minimieren, die durch zahlreiche Faktoren bewirkt werden, ohne einen nachteiligen Effekt auf dynamische Antworten zu haben. Die Routine **500** minimiert außerdem das Totband, eliminiert begrenzte zyklische Bewegungen und maximiert dynamische Antworten für Ventile mit hoher Reibung mit einer Festsitzen-/Rutsch-Bewegung, wie in größerem Detail nachfolgend beschrieben wird.

[0115] Es gibt einige verschiedene Merkmale, die durch die Routine **500** bereitgestellt werden: sie stellt eine spezielle nicht-lineare Verstärkungskompensationsgleichung bereit, die zuverlässig und einfach anzuwenden ist, insbesondere hinsichtlich ihrer Anwendung auf fehlerbezogene und positionsbezogene Ventil-Nichtlinearitäten; sie schafft ein integrales Dauerzustandssteuerschema, um Dauerzustandspositionsfehler und Festsitzen-/Rutsch-Bewegung zu minimieren; sie verwendet eine Totzone, um Festsitzen-Rutsch-Ventilverhalten mit hoher Reibung zu überwinden; und sie steuert das Ventil unabhängig sowohl in Öffnungs- und Schließrichtung, um eine gleichmäßige Leistung oder eine vom Kunden gewünschte Leistung zu erreichen.

[0116] Die Ventilpositionssteuerroutine **500** empfängt einen entfernten Positionseinstellpunkt (Z_{RSP}) vom Mikroprozessor **18**. Der entfernte Einstellpunkt Z_{RSP} ist ähnlich der Einstellpunktposition S_p aus Gleichung 3. In Schritt **502** wird Z_{RSP} skaliert, falls erforderlich, und zwar auf einen Standardbereich, und in Schritt **504** wird unter Verwendung einer Charakteristikfunktion F_c charakterisiert, um einen normalen Positionseinstellpunkt (Z_{NSP}) zu erzeugen. Der normale Positionseinstellpunkt Z_{NSP} ist ähnlich der charakterisierten Position P_s aus Gleichung 3. Der Ventilcharakterisierungsschritt **504** wird verwendet, um eine Kompensation der Prozesssteuerschleife zu erreichen, und ist wichtig, um eine Gleichmäßigkeit der Steuerleistung unter einem breiten Betriebsbereich zu erhalten. Eine Verstärkungskompensation bewirkt eine Einstellung der Steuerungsverstärkung K infolge von Verstärkungsveränderungen von anderen Komponenten in der Steuerschleife. Die Positionssteuerroutine **500** wählt das Z_{NSP} aus, wenn sich der Positionierer **12** in der normalen (oder automatischen) Betriebsart befindet. Anderenfalls wählt die Routine einen manuellen Positionseinstellpunkt (Z_{MSP}) für die manuelle Betriebsart aus.

[0117] Ein Hoch/Tief-Grenzwertschritt **506** prüft den ausgewählten Positionseinstellpunkt (Z_{MSP} oder Z_{NSP}), wenn Hoch/Tief-Grenzwertflaggen gesetzt sind, und begrenzt die Einstellpunkte entsprechend. Die Hoch/Tief-Grenzwertflaggen ermöglichen es dem Kunden, einen gewünschten Betriebsbereich für das Ventil **10** zu konfigurieren. Der Kunde kann außerdem einen enge Abschaltflagge für das Ventil **10** einstellen. Wenn in Schritt **508** die enge Abschaltflagge gesetzt ist und der Positionseinstellpunkt (Z_{SP}) unter die enge Abschaltposition fällt (z.B. 5%), dann stellt die Routine **500** das AUS-Signal entweder seinen hohen oder niedrigen Grenzwert, um die maximale Kraft zum Schließen des Ventils zu erzeugen. Eine enge Abschalt-Totzone, normalerweise 0,5 bis 1%, wird verwendet, um eine Ventilbewegung nahe der Abschaltposition zu vermeiden. Das Ventil **10** bleibt vollständig geschlossen, bis der Einstellpunkt die enge Abschaltposition plus einer engen Abschalt-Totzone (z.B. 5% + 0,5%) überschreitet.

[0118] Ein Dämpfungsschritt **510** wird verwendet, um die Ventilantwortgeschwindigkeit zu manipulieren, indem ein aktueller Positionseinstellpunkt (Z_{CSP}) mit einem einstellbaren Dämpfungskoeffizienten (α) oder einem feststehenden Dämpfungskoeffizienten (α_0) berechnet wird, wie in den folgenden Gleichungen beschrieben:

$$\begin{aligned} Z_{CSP}(t) &= \alpha Z_M(t) + (1 - \alpha)Z_{SP}(t), \quad (11) \text{ wenn } \text{abs}(Z_{SP} - Z_M) > \Delta Z_D \\ &= \alpha_0 Z_M(t) + (1 - \alpha_0)Z_{SP}(t), \quad \text{wenn } \text{abs}(Z_{SP} - Z_M) \leq \Delta Z_D \end{aligned} \quad (11)$$

wobei

$$0 \leq \alpha < 1, \quad 0 \leq \alpha_0 < 1 \quad (12)$$

t = Zeit, Sec
 Z_M = gemessene Ventilposition, %
 Z_{SP} = Ventilpositionseinstellpunkt, %
 ΔZ_D = Ventilantwortdämpfungstotzone, %

[0119] Es gibt keine Dämpfung bei $\alpha = 0$ und die maximale Dämpfung, wenn α sich dem Wert 1 annähert. Wenn eine schnelle Ventilantwort gewünscht ist, dann muss der Dämpfungskoeffizient auf Null eingestellt werden (keine Dämpfung). Es ist wichtig, die Dämpfung (stelle $\alpha_0 = 0$ oder nahe 0 ein) in einer Dämpfungstotzone (normalerweise 0,3 bis 1%) zu begrenzen, so dass die Leistungsgenauigkeit und das Totband nicht ver-

schlechtert werden.

[0120] Alternativ kann Gleichung 11 umgeschrieben werden, um den Dämpfungskoeffizienten in einem Ganzzahlformat zu verwenden, wie folgt:

$$\begin{aligned} Z_{\text{CSP}}(t) &= [\alpha Z_M(t)/10 + [(10 - \alpha)Z_{\text{SP}}(t)]/10, \text{ wenn } \text{abs}(Z_{\text{SP}} - Z_M) > \Delta Z_D \\ &= [\alpha_0 Z_M(t)/10 + [(10 - \alpha_0)Z_{\text{SP}}(t)]/10, \text{ wenn } \text{abs}(Z_{\text{SP}} - Z_M) \leq \Delta Z_D \end{aligned} \quad (13)$$

wobei

$$0 \leq \alpha \leq 9, 0 \leq \alpha_0 \leq 9 \quad (14)$$

[0121] Der Positionsfehler ist gleich dem aktuellen Einstellpunkt minus der gemessenen Position. Abhängig davon, ob das Ventilbetätigungsmittelsystem direkt oder umgekehrt wirkt, kann das Vorzeichen des Fehlers in Schritt **512** umgekehrt werden, so dass die Positionssteuerung immer eine negative Rückkopplungsschleife ist.

[0122] In Schritt **514** ist ein Rauschfilter konstruiert, um Positionsfehlerrauschen herauszufiltern. Die Positionsfehler werden gemittelt, wenn das Rauschen einen signifikanten Bereich periodischen Rauschens enthält. Eine geeignete Totzone (z.B. 0,3 bis 0,8%), basierend auf dem Rauschpegel, kann ebenfalls angewendet werden, um das Rauschen herauszufiltern.

[0123] In Schritt **516** ist eine Totzone ausgestaltet, um das Problem des Festsitzen-/Rutsch-Verhaltens der Ventilbewegung zu überwinden, das typisch ist, wenn das Ventil **10** ein Ventil mit hoher Reibung ist. Die hohe Reibung hinsichtlich der Bewegung des Ventilschafts **64** führt manchmal zu einem Festsitzen-/Rutsch-Verhalten, da die statische Reibung höher ist als die dynamische Reibung. Die hohe Reibung und das Festsitzen-/Rutsch-Verhalten können zu einer langsamen Antwort, einer hohen Hysterese plus Totband und/oder zu einer begrenzten zyklischen Bewegung des Ventils führen. Wenn das Ventil **10** ein Ventil mit geringer Reibung ohne Festsitzen-/Rutsch-Verhalten ist, dann ist die Totzone gleich Null.

[0124] Als nächstes wird eine nicht-lineare Proportional-Differential-Dauerzustands-Integral-Routine **520** (PD-SSI) durchgeführt. Die PD-SSI-Routine **520** verwendet eine nicht-lineare Proportional-Differential-Steuerung, um die Position des Ventils **10** schnell auf oder in die Nähe seines Einstellpunkts einzustellen, wobei dann eine spezielle Dauerzustands-Integral-Steuerung eingeschaltet wird, um den Dauerzustandsfehler zu eliminieren oder zu minimieren. Durch Verwendung der PD-SSI-Routine **520** kann die Hysterese (plus Totband) von einem Ventil mit hoher Reibung signifikant auf 0,05–0,3% reduziert werden, wobei immer noch eine schnelle dynamische Antwort erhalten wird. Die Totzone wird daher eingestellt (in Schritt **516**), um eine minimale Ventilbewegungsauflösung zu erhalten, so dass dann, wenn das Ventil **10** in seiner minimalen Totzone bewegt wird, die Steuerung aufhört, ihren Ausgang zu verändern, um eine mögliche begrenzte zyklische Bewegung zu vermeiden.

[0125] Die PD-SSI-Routine **520** kann in der Laplace-Transformation wie folgt ausgedrückt werden:

$$\text{OUT}(s) = K[1 + \text{DTERM} + \text{ITERM}] \quad (15)$$

OUT(s) = Steuerungsausgang in der Laplace-Transformation

K = Verstärkung

ITERM = BIAS(s) Ausgleichsausgang in der Laplace-Transformation

$$\text{DTERM} = Z_E(s) \frac{T_D K_D S}{K_D + S}$$

K_D = abgeleitete Verstärkung, normalerweise 8–16 sec⁻¹

T_D = abgeleitete Zeit

$Z_E(S)$ = Positionsfehler in der Laplace-Transformation

[0126] Die nicht-lineare Verstärkung K wird nachfolgend in größerem Detail erläutert.

[0127] Üblicherweise haben nicht-integrale Steuerroutinen inhärente Dauerzustandsfehler oder einen Versatz. Diese Dauerzustandsfehler werden durch zahlreichen Faktoren beeinflusst, wie z.B. Umgebungstemperatur und Alterungseffekte, die die Charakteristiken der Komponenten negativ beeinflussen können. Die Dau-

erzustandsfehler, falls signifikant, führen zu einer reduzierten Kapazität oder zu einem schlechten Schließen, was Feldkalibrierung oder Einstellung erforderlich macht. Im Gegensatz dazu wird integrale Steuerung bei der Vermeidung dieser Dauerzustandsfehler wirksam, und sie reduziert daher die Genauigkeit und die Linearitätsanforderung von verschiedenen Komponenten, die beispielsweise der I/P-Wandler **22** und das Schieberventil **24**.

[0128] Jedoch neigt die integrale Steuerung dazu, Positions-Überschwingen und begrenzte zyklische Bewegung sowie Hochdrehen zu bewirken. Um von den Vorteilen der integralen Steuerung die vollen Vorteile zu genießen und um gleichzeitig ihre Nachteile zu vermeiden, verwendet die PD-SSI-Routine **520** eine integrale Dauerzustandssteuerung, die während einer momentanen Antwort abgeschaltet wird, und wenn sich das Ventil bei oder nahe seiner vollständig geschlossenen oder vollständig geöffneten Position befindet, und im Dauerzustand eingeschaltet wird. Die integrale Steuerung, die in der PD-SSI-Routine **520** verwendet wird, kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$BIAS(t) = BIAS(t - n\Delta t) + \frac{P_F Z_E n\Delta t}{T_1} \quad (16)$$

P_F = proportionale Verstärkung beim Luftfüllbetrieb für einzeln wirkendes Betätigungsmittel und für Öffnungsbetrieb für doppelt wirkendes Betätigungsmittel
 T_1 = Intervallzeit
 $n\Delta T$ = Integralsteuerungsberechnungsperiode
 Z_E = Positionsfehler nach Rauschfilter (Schritt **514**) und eingestellt für Totzone (**516**).

[0129] Die obige Gleichung wird nur ausgeführt, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$0,3 - 1\% \leq Z_M(t) \leq 98 - 99,7\% \quad (17)$$

$$0,3 - 1\% \leq Z_M(t) \leq 98 - 99,7\% \quad (18)$$

$$\text{abs}[Z_E(t) - Z_E(t - k\Delta t)] \leq 0,1 - 0,2\%, \text{ wenn } k = 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

$$n\Delta t = 3 - 10\text{sec} \quad (20)$$

[0130] Das Zeitintervall T_1 sollte auf einen geeignet großen Wert eingestellt werden (normalerweise 0,3 bis 2,0 Sekunden), so dass die Integralsteuerung nur eingeschaltet wird, wenn sich das Ventil bei oder nahe einem Dauerzustand befindet. Die integrale Steuerung wird nach einem sehr viel größerem Intervall $n\Delta T$ als die Positions-routinen-Berechnungsperiode (ΔT) ausgeführt, wobei die größere Zeitdauer in Betracht gezogen wird, die erforderlich ist, um den Druck des Betätigungsmittels zu verändern, um die Ventilreibung zu überwinden, wenn die Position Z_E bei nahe Null liegt. Dies trägt zur Verhinderung von begrenzter zyklischer Bewegung bei. Eine nicht-lineare integrale Steuerung, die eine große Auswirkung für große Fehler hat, kann gewünscht sein, um große Dauerzustandsfehler beim Starten des Ventils oder während plötzlicher Veränderung in der Umgebung schneller zu vermindern, wie beispielsweise Umgebungstemperatur und Vibration.

[0131] Die Ventilsteuerung ist inhärent nicht-linear. In der PD-SSI-Routine **520** wird eine nicht-lineare Verstärkung K verwendet, um diese inhärenten Nicht-Linearitäten zu kompensieren. Die folgende Beschreibung basiert auf die Annahme, dass ein Anstieg der Steuerungsausgabe zu einer Luftbefüllung des Betätigungsmittels **26** für ein einfach wirkendes Betätigungsmittel oder zum Öffnen des Ventils für einen doppelt wirkenden Betätigungsmittel führt. Dies wird jedoch auch in der entgegengesetzten Situation angewendet, mit einiger Veränderung in den nachfolgenden entsprechenden Gleichungen.

[0132] Die Steuerungsverstärkung K kann ausgedrückt werden durch:

$$K = f(\beta, Z_E) f(Y_F, Z_M, Z_E) P_F \text{ wenn } Z_E \geq 0 \\ = f(\beta, Z_E) f(Y_E, Z_M, Z_E) P_E \text{ wenn } Z_E < 0 \quad (21)$$

wobei:

$f(\beta, Z_E)$	= nicht-lineare fehlergrößenbezogener Verstärkungsfaktor
$f(Y_E, Z_M, Z_E)$	= nicht-lineare funktionsbezogener Verstärkungsfaktor in Luftausstoßbetrieb für einfach wirkendes Betätigungsmittel, und in geschlossenem Betrieb für doppelt wirkendes Betätigungsmittel
$f(Y_F, Z_M, Z_E)$	= nicht-lineare positionsbezogener Verstärkungsfaktor bei Luftfüllbetrieb für einfach Wirkendes Betätigungsmittel, und bei offenem Betrieb für doppelt wirkendes Betätigungsmittel
P_E	= proportionale Verstärkung bei Luftausstoßbetrieb für einfach wirkendes Betätigungsmittel, und in geschlossenem Betrieb für doppelt wirkendes Betätigungsmittel
P_F	= proportionale Verstärkung bei Luftbefüllbetrieb für einfach wirkendes Betätigungsmittel, und für offenen Betrieb für doppelt wirkendes Betätigungsmittel
β	= fehlergrößenbezogener nicht-linearer Koeffizient
Y_E	= positionsbezogener nicht-linearer Koeffizient bei Luftausstoßbetrieb für einfach wirkendes Betätigungsmittel, und im geschlossenen Betrieb für doppelt wirkendes Betätigungsmittel
Y_F	= positionsbezogener nicht-linearer Koeffizient bei Luftbefüllbetrieb für einfach wirkendes Betätigungsmittel, und bei offenem Betrieb für doppelt wirkendes Betätigungsmittel
Z_E	= skalierte Version von manuellem Positionswert Z_{POS}

[0133] Wenn das Betätigungsmittel **26** ein Feder-Membran-Betätigungsmittel ist, dann hängt die Geschwindigkeit der Luftbefüllung des Betätigungsmittels von dem Luftzufuhrdruck ab, wohingegen die Geschwindigkeit des Luftausstoßes des Betätigungsmittels von dem Luftzufuhrdruck unabhängig ist. Dies führt zu recht unterschiedlichen Antworten in Öffnungs- und Schließrichtung, wenn eine einzelne proportionale Verstärkung verwendet wird. Um dieses asymmetrische Verhalten zu kompensieren, und um sowohl die Öffnungs- wie auch die Schließantworten unabhängig einstellbar zu machen, werden separate proportionale Verstärkungen in dieser Routine verwendet, um sowohl die Öffnungs- wie auch die Schließantworten des Ventils unabhängig zu steuern. Ein Verstärkungsauswahlschritt **522** bestimmt automatisch, welche Verstärkung verwendet werden sollte, und zwar basierend auf der Richtung der Ventilbewegung. Außerdem, wenn das Betätigungsmittel **26** ein doppelt wirkendes Betätigungsmittel ist, dann ist es häufig gewünscht, verschiedene Verstärkungen zu verwenden, um die Öffnungs- und Schließantworten unabhängig zu verändern.

[0134] In Schritt **524** wird ein fehlergrößenbezogener nicht-linearer Verstärkungsfaktor verwendet, um die Verstärkung zu kompensieren, die beispielsweise durch eine nicht-lineare federähnliche Membrankraft in dem Betätigungsmittel **26** oder dem Ventil **10** bewirkt wird. Die folgende typische Verstärkungskompensationsgleichung wird verwendet

$$f(\beta, Z_E) = \frac{(1 - \beta) + \beta \max(20\%, \text{abs}(Z_E))}{(1 - \beta) + \beta \left| Z_E^{ref} \right|} \quad (22)$$

$$0 \leq \beta < 1 \quad (23)$$

[0135] Wenn $\beta = 0$ ist, dann ist der Faktor $f = 1,0$, und die Steuerungsverstärkung K ist unabhängig vom Fehler. Je größer β ist, desto größer ist die Nicht-Linearität der Steuerungsverstärkung. Ein typischer mittelgroßer Fehler von 2% bis 6% kann als Referenzfehler in der obigen Gleichung verwendet werden. Beim Referenzfehler beträgt der nicht-lineare Faktor immer 1,0.

[0136] Eine entsprechende Verstärkungskompensationsgleichung im Ganzzahlformat kann gewünscht sein, um Berechnungszeit und Speicher zu sparen:

$$F(\beta^0, Z_E) = \frac{(10 - \beta) + \beta \max(20\%, \text{abs}(Z_E))}{(10 - \beta) + \beta Z_{ref}} \quad (24)$$

[0137] β^0 ist auf einem Bereich von 0 bis 9 begrenzt. Wenn ein Referenzfehler von 5% ausgewählt ist, kann der nicht-linear Verstärkungsfaktor dargestellt werden, wie in Tabelle 1.

Tabelle 1

β	$f(\beta^0, Z_E)$				
	$ Z_E = 0\%$	$ Z_E = 5\%$	$ Z_E = 10\%$	$ Z_E = 20\%$	$ Z_E > 20\%$
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,988	1,00	1,01	1,04	1,04
4	0,968	1,00	1,03	1,10	1,10
6	0,930	1,00	1,07	1,21	1,21
7	0,896	1,00	1,10	1,31	1,31
8	0,833	1,00	1,17	1,50	1,50
9	0,690	1,00	1,31	1,93	1,93

[0138] Die Ventilantworten sind auch abhängig von der Position (d.h. die Ventilantworten sind in verschiedenen Positionen verschieden), abhängig vom Typ des Betätigungsmittels und abhängig vom Typ des Ventils. Für ein Ventil mit einem einfach wirkenden Betätigungsmittel ist die von der Position abhängige Nicht-Linearität sehr viel höher in der Luftbefüllrichtung als in der Luftausstoßrichtung. Es wird beispielsweise eine schrittweise 5%-Änderung betrachtet. Ein Luft-Öffnen-Ventil öffnet sehr viel schneller von 10% bis 15 als von 90% bis 95%, und zwar infolge der Luftbefüllung, wie vorstehend in Detail beschrieben. Jedoch ist die Antwort von diesem Ventil beim Schließen (Luftausstoß) nicht wesentlich verschieden gegenüber dem gesamten Betriebsbereich.

[0139] Durch mathematisches Modellieren können die obigen Antworten simuliert werden. Für ein typisches einfach wirkendes Schieberventil kann die Luftmassenströmung durch die folgenden Gleichungen beschrieben werden:

$$w_i = k_i(x) \sqrt{(P_s - P)P_s} \left[1 - \frac{(P_s - P)}{3P_s x_T} \right] \sqrt{\frac{T_{ref}}{T}} \quad (25)$$

$$w_o = k_o(x) \sqrt{(P - P_e)P} \left[1 - \frac{(P - P_e)}{3Px_T} \right] \sqrt{\frac{T_{ref}}{T}} \quad (26)$$

$$(P_s - P)/P_s \leq X_T \quad (27)$$

$$(P - P_e)/P \leq X_T \quad (28)$$

wobei

- k_i = Strömungskoeffizient von Zuführanschluß zu Betätigungsmittel
- k_o = Strömungskoeffizient von Betätigungsmittel zu Auslaßanschluß
- P_e = Auslaßanschlußdruck
- P = Betätigungsmitteldruck
- P_s = Zuführanschlußdruck
- T = Lufttemperatur
- T_{ref} = Referenztemperatur
- W_i = Luftbefüllmassenströmung
- W_o = Luftauslaßmassenströmung
- x = Kolbenverlagerung
- x_T = 0,84 (Druckverlustverhältnissfaktor, dimensionslos)

[0140] Gleichungen 25–28 sind Annäherungen der Basisöffnungsströmung unter der Annahme, dass Luft ein ideales Gas bei einer Umgebungstemperatur und bei einem Druck unter 80 psi ist.

[0141] Unter den Annahmen, dass Luft in dem Betätigungsmittel ein ideales Gas ist und der Prozess in dem Betätigungsmittel adiabatisch ist, kann gezeigt werden, dass:

$$pv = \frac{m}{M} RT \quad (29)$$

$$pv^\lambda = \text{const}, \quad @m = \text{const} \quad (30)$$

m = Luftmasse, LB_m
 M = Luft-Molekulargewicht
 R = Gaskonstante
 v = Luftvolumen, in^3
 λ = Verhältnis des spezifischen Luftgewichts, 1,40
 P = Druck
 T = Temperatur

[0142] Die folgende Gleichung kann aus den beiden obigen Gleichungen abgeleitet werden:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{1}{v} \left[\frac{RT}{M} \frac{dm}{dt} - \lambda p \frac{dv}{dt} \right] \quad (31)$$

[0143] Unter der Annahme eines konstanten effektiven Bereichs kann die obige Gleichung für die Luft in beiden Seiten des Ventilkolbens **62** umgeschrieben werden:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{RT}{M\lambda A_a p dt} \frac{dm}{p dt} - \frac{v}{\lambda A_a p} \frac{dp}{dt} \quad (32)$$

A_a = effektives Gebiet des Ventilstopfens **62**
 Z = Ventilschaftposition in Zoll oder Millimeter

[0144] Wenn das anfängliche Luftvolumen bei Null angenommen wird und v proportional z ist, dann können wir die obige Gleichung vereinfachen als:

$$\frac{dz}{dt} = c_1 \frac{dm}{p dt} - \frac{z}{\lambda p} \frac{dp}{dt} \quad (33)$$

[0145] Für die Luftbefüllung ist w_i die Veränderung in der Luftmasse (dm/dt). Für den gleichen Versatz für das Schieberventil **24** ist die Luftbefüllmassenströmung die größte, wenn das Luftvolumen das größte ist. Der erste Begriff ist der größte, und der zweite Begriff ist der kleinste auf der rechten Seite der obigen Gleichung, was bewirkt, dass die Ventilbewegung (dz/dt) am schnellsten ist, wenn der Betätigungsmittelluftdruck am niedrigsten ist. Die Antwort des Ventils **10** wird langsamer, wenn der Luftdruck des Betätigungsmittels **26** ansteigt und das Luftvolumen abnimmt ($dm/p dt$ fällt schnell ab).

[0146] Für austretende Luft, $w_o = dm/dt$, wird die Luftauslaßmassenströmung größer, wenn der Druck für das Betätigungsmittel **26** ansteigt. Dies führt zu einer $dm/p dt$ -Veränderung, die sehr viel weniger signifikant ist als beim Luftbefüllvorgang. Daher ist die Verstärkungskompensation für den Luftbefüllvorgang sehr viel wichtiger als für den Luftausstoßvorgang. Als ein Ergebnis muss die positionsbezogene Verstärkungskompensation bei Luftbefüll/und Luftausstoßvorgängen unterschiedlich sein.

[0147] Aus der obigen Analyse wird es erforderlich, eine positionsbezogene Verstärkungskompensation **526** für den Luftbefüllvorgang anzuwenden, um eine gleichmäßigere dynamische Leistung in einem weiten Ventilbetriebsbereich für den Fall zu haben, wenn das Betätigungsventil **26** einfach wirkend ist. Wie bei der Fehlergrößen-bezogenen Verstärkungskompensation **524** werden daher die nachfolgenden ähnlichen Verstärkungskompensationsgleichungen für das einfach wirkende Betätigungsmittel **26** verwendet.

$$f(\lambda_F, Z_M, Z_E) = \frac{(1 - \lambda_F) + \lambda_F Z_M^R}{(1 - \lambda_F) + \lambda_F Z^{ref}} \quad \text{wenn } Z_E \geq 0 \quad (34)$$

$$f(\lambda_E, Z_M, Z_E) = \frac{(1 - \lambda_E) + \lambda_E Z_M^R}{(1 - \lambda_E) + \lambda_E Z^{ref}} \quad \text{wenn } Z_E < 0 \quad (35)$$

$$0 \leq \lambda_F < 1, 0 \leq \lambda_E < 1 \quad (36)$$

$$\begin{aligned} Z_M^R &= Z_M \text{ für Luft-Öffnen-Ventil} \\ &= 100\% - Z_m \text{ für Luft-Schließen-Ventil} \end{aligned} \quad (37)$$

wobei Z^{ref} eine Referenzposition ist, bei der der Faktor f immer 1,0 ist, unabhängig von dem Wert der nicht-linearen Koeffizienten γ_F oder γ_E . Eine typische 30% zu 70%-Ventilposition kann als die Referenzposition verwendet werden, bei der ein selbsteinstellendes oder manuell einstellbares Verfahren angewendet werden kann, um den Einstellparameter zu bestimmen, einschließlich der proportionalen Verstärkung. Die proportionalen Verstärkungen in anderen Positionen können durch die nicht-linearen Koeffizienten γ_F und γ_E eingestellt werden, um eine ähnliche dynamische Leistung hinsichtlich der Referenzposition zu erreichen.

[0148] Gemäß der obigen Analyse ist die positionsbezogene Nicht-Linearität in der Luftbefüllrichtung sehr viel höher als in der Luftausstoßrichtung für das einfach wirkende Betätigungsmittel **26**, was zu der Relation zwischen zwei nicht-linearen Koeffizienten führt:

$$\gamma_F < \gamma_E \quad (38)$$

[0149] Zwei entsprechende Verstärkungskompensationsgleichungen in Ganzzahl-Format für ein einfach wirkendes Betätigungsmittel können zur Einsparung von Rechenzeit und Speicher gewünscht sein:

$$f(\gamma_F^0 Z_M, Z_E) = \frac{(12 - \gamma_F^0) + \gamma_F^0 Z_M^R}{(12 - \gamma_F^0) + \gamma_F^0 Z^{ref}} \quad \text{wenn } Z_E \geq 0 \quad (39)$$

$$f(\gamma_E^0 Z_M, Z_E) = \frac{(12 - \gamma_E^0) + \gamma_E^0 Z_M^R}{(12 - \gamma_E^0) + \gamma_E^0 Z^{ref}} \quad \text{wenn } Z_E < 0 \quad (40)$$

wobei die Ganzzahlen γ_F^0 und γ_E^0 auf dem Bereich von 0 bis 11 begrenzt sind. Auch hier werden die positionbezogenen nicht-linearen Koeffizienten so gewählt, dass $\gamma_F^0 > \gamma_E^0$ ist.

[0150] Wenn ein Referenzfehler von 40% für ein Luft-Öffnen-Ventil gewählt wird, dann ist der Wert der obigen nicht-linearen Verstärkungsfaktoren nachfolgend in Tabelle 2 dargestellt. Es gibt ein Hoch/Tief-Begrenzungsmodul **530**, um die Ausgabe **534** zu begrenzen, berechnet durch Gleichung 15. Die Ausgabe **534** von dem Begrenzungsmodul **530** wird in ein analoges Signal umgewandelt, beispielsweise ein Strom, der dem I/P-Wandler **22** zugeführt wird und dazu dient, um den Ventilbetätigungsdruck und die Ventilposition zu steuern.

Tabelle 2

	$f(\gamma_F^0, Z_M, Z_F)$ oder $f(\gamma_E^0, Z_M, Z_E)$				
γ_F^0 oder γ_E^0	$Z_M=0\%$	$Z_M=20\%$	$Z_M=40\%$	$Z_M=80\%$	$Z_M=100\%$
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,926	0,963	1,00	1,07	1,11
4	0,833	0,917	1,00	1,17	1,25
6	0,714	0,857	1,00	1,29	1,43
8	0,556	0,778	1,00	1,44	1,67
9	0,455	0,727	1,00	1,55	1,82
10	0,333	0,667	1,00	1,67	2,00

[0151] Wenn beispielsweise γ_E gleich 2 ist und die gemessene Ventilposition Z_M gleich 20% ist, dann hat die Funktion $f(\gamma_E, Z_M, Z_E)$ den Wert 0,963, der in der obigen Gleichung 21 verwendet werden kann.

Ventilpositionssteuerungselbsteinstellungsroutine

[0152] Die Ventilpositionssteuerungscharakteristiken weichen infolge unterschiedlicher Typen und Größen von Betätigungsmitteln und Ventilen, die von verschiedenen Herstellern hergestellt sind, unterschiedlicher Charakteristiken von I/P-Wandlern und Relais-Vorrichtungen, Luftzuführdrücken, Kapazitäten und Prozessbedingungen, etc. wesentlich voneinander ab. Dies führt dazu, dass die Einstellung der Ventilpositionssteuerung schwierig und zeitintensiv ist. Durch die vorliegende Erfindung wird eine Selbsteinstellungsroutine zur Verfügung gestellt, die Variablen, wie z.B. die Steuerungsverstärkung, Dauerzustandsfehler und Totzone, in Betracht zieht und automatisch die Steuerungsparameter für das Steuerventil bestimmt.

[0153] [Fig. 13](#) zeigt eine Darstellung **540**, die beschreibt, wie die Ventilposition auf eine Veränderung des Einstellungspunkts antwortet. [Fig. 14](#) zeigt eine Darstellung **542**, die eine verbesserte Ventilpositionsantwort beschreibt, die durch die nachfolgend beschriebene Selbsteinstellungsroutine erreicht wird. Die Darstellung **540** zeigt eine typische Schrittantwort der Ventilposition nach einer erfolgreichen Selbsteinstellung. Durch den Vergleich mit der Darstellung **540** zeigt die Darstellung **542** eine schnellere Antwort mit weniger Ausschlägen, z.B. eine bessere dynamische Leistungsverhalten. Eine Aufgabe der Selbsteinstellung besteht darin, Parameter für das Steuerungsmodul zu erhalten, das in dem Mikroprozessor **18** läuft.

[0154] Die nachfolgenden Selbsteinstellungs-Flussdiagramme verwenden die folgenden Definitionen:

Steuerungsverstärkung (P)	– das Verhältnis von Ausgabe gegenüber Eingabe. Die Ausgabe ist das AUS-Signal, das dem I/P-Wandler zugeführt wird; die Eingabe ist der Positionsfehler, die Differenz zwischen den Positionseinstellwert und dem tatsächlichen Positionswert.
Integrale Dauerzustandssteuerung (I)	– I wird verwendet, um den Dauerzustandsfehler zu vermeiden, wie in Gleichung 21 beschrieben.
Ableitungszeit (T_D)	– Zuführsteuervariable, um die Antwort des Ventils zu beschleunigen: um beispielsweise das Ventil von 40 auf 50 zu bewegen, erhöht T_D -Steuerung die Antwort zuerst, und wenn sich das Ventil in Richtung auf den Einstellpunkt 50% bewegt, dann wird der T_D -Wert die Antwort verlangsamen, um Ausschläge zu vermeiden.
Totzeit (T_d)	– das Zeitintervall zwischen der Einleitung einer Positionseinstellpunktveränderung und dem Start der resultierenden beobachtbaren Antwort.
Zeitverzögerung (τ_d)	– das Zeitintervall, um eine Ventilbewegung während eines Open-Loop-Tests umzukehren.
Totzone (Z_{dx})	– die Zone des Positionsfehlers, in der der Positionsfehler zur Verarbeitung, um einen Steuerausgang zu erzeugen, bei Null angenommen wird. Er wird absichtlich verwendet, um das Problem des Festsitzen-/Rutsch-Verhaltens des Ventils und des Rauschens zu lösen.
Endposition (Z_e)	– die Position des Ventils nach einer ausreichenden Zeit (T_e).
Maximale Geschwindigkeit (V_{max})	– die maximale Ventilbewegungsgeschwindigkeit während der momentanen Ventilantwort.
Minimale Geschwindigkeit (V_{min})	– die minimale Ventilbewegungsgeschwindigkeit während der Periode von $(T_d + 0,1T_p)$ bis $(0,8T_p)$, wobei $0,7 T_p > T_d$.
Überschwingen (IS_+)	– maximale Auslenkung über den endgültigen Dauerzustandswert hinaus (siehe Fig. 13). $IS_+ = \text{abs}[(Z_p - Z_e)/Z_e]$.
Überschwingen (IS_-)	– maximale Auslenkung über den endgültigen Dauerzustandswert in entgegengesetzter Richtung. $IS_- = \text{abs}[(Z_e - Z_m)/Z_e]$ Überschwinggrenze (IS_M) – maximal erlaubtes Überschwingen, d.h. $IS_+, IS_- \leq IS_M$.
Spitzenwertposition (Z_p)	– maximale Auslenkung über die Anfangsposition hinaus.
Spitzenwertzeit (T_p)	– Zeitintervall, das für ein Ventil erforderlich ist, um sich vom Anfang der Positionseinstellpunktveränderung zu seiner Spitzenwertposition (Z_p) zu bewegen.
Antwortzeit (T_r)	– Zeitintervall, das für eine Positionsveränderung vom Anfang der Positionseinstellpunktveränderung zu 98% der endgültigen Position (Z_e) erforderlich ist.
Dauerzustandsfehler (ΔZ_e)	– Differenz zwischen der Endposition und dem Positionseinstellpunkt $\Delta Z_e = Z_e - Z_{sp}$.

[0155] Unter Bezugnahme auf [Fig. 15](#) bestimmt eine Selbsteinstellungsroutine **550** schnell und automatisch geeignete Steuerparameter, um das Erfordernis einer manuellen Einstellung zu vermeiden. Außerdem kann die Routine **550** Probleme erfassen, die die Funktion und das Leistungsverhalten des Systems nachteilig beeinflussen können. Die Selbsteinstellungsroutine **550** enthält drei Unterroutrinen: eine Finde-BIAS-Routine **552**, ein Open-Loop-Test **554** und ein Closed-Loop-Test **556**.

[0156] Unter Bezugnahme auf [Fig. 16](#) ist die Finde-BIAS-Routine **552** ausgestaltet, um einen korrekten Wert für das BIAS zu dem I/P-Wandler **22** für den zweiten Schritt von einem Open-Loop-Test zu finden. In Schritt **560** wird BIAS anfänglich auf den Mittelwert von einem vorbestimmten Minimalwert für BIAS, "Bmin", den aktuellen Wert für BIAS (oder ein Mittelwert, wenn kein aktueller Wert existiert) und einen vorbestimmten Maximalwert für BIAS eingestellt, "Bmax". Ein BIAS-Veränderungswert, "ΔB", wird auf einen vorbestimmten Anfangswert eingestellt. In Schritt **562** wird das AUS-Signal auf BIAS eingestellt.

[0157] In Schritten **564–568** wird die Ventilposition innerhalb eines vorbestimmten Hoch-Grenzwerts "hi_limit" und eines vorbestimmten Tief-Grenzwerts "lo_limit" eingestellt. In Schritten **570–574** wartet der Positionierer **12** bis die absolute Veränderung des Drucks "P1" von dem Drucksignal **40** größer als 0,5% ist. In Schritt **576** wird eine erste Druckrate "PR₁" als die Veränderung des Drucks über die abgelaufene Zeit "Δt" bestimmt.

[0158] In Schritten **578–582** wartet der Positionierer **12** wieder bis die absolute Veränderung des Drucks von

dem Drucksignal **40** größer als 0,5% ist. In Schritt **584** wird eine zweite Druckrate "PR₂" als die Veränderung des Drucks über die abgelaufene Zeit Δt bestimmt.

[0159] Wenn in Schritt **586** die Druckraten PR₁, PR₂ das gleiche arithmetische Vorzeichen haben, dann wird in Schritt **588** der BIAS-Wert entsprechend eingestellt, und die Durchführung kehrt zu Schritt **562** zurück. Anderenfalls wird in Schritt **590** BIAS auf einen neuen Wert umdefiniert, der auf den Druckraten PR₁, PR₂ und dem BIAS-Veränderungswert ΔB basiert.

[0160] Wenn in Schritt **592** eine der Druckraten PR₁, PR₂ über der Hoch-Druckgrenze "hi_limit" liegt, dann wird in Schritt **594** der BIAS-Veränderungswert ΔB eingestellt, und die Durchführung kehrt zu Schritt **562** zurück. Wenn andererseits in Schritt **596** eine der Druckraten PR₁ oder PR₂ unter der Tief-Druckgrenze "lo_limit" liegt, dann wird in Schritt **598** der BIAS-Veränderungswert ΔB eingestellt, und die Durchführung kehrt zu Schritt **562** zurück. Wenn in Schritt **600** die Veränderung in den Druckraten relativ klein ist, dann kehrt die Durchführung zu Schritt **562** zurück. Anderenfalls führt die Finde-BIAS-Routine **552** den berechneten BIAS-Wert auf die Selbsteinstellungsroutine **550** zurück.

[0161] Unter Bezugnahme auf **Fig. 17** wird der Open-Loop-Einstellungstest **554** verwendet, um Systemcharakteristiken zu erhalten und Steuerparameter zu berechnen. In Schritt **620** ist das Ventil **10** geöffnet, und Schrittgrößen für den I/P-Wandler " ΔU_F ", " ΔU_E " und " ΔU_O " werden auf einen Anfangswert gestellt. In Schritt **622** wird eine SCHRITT-Unterroutine **523** (**Fig. 18**) aufgerufen, um eine Verzögerungszeit τ_{d1} und eine erste Ventilöffnungsgeschwindigkeit V_1 für eine momentane Ventilantwort zu erhalten. Ein zwischenliegender Verstärkungswert K_{p1} wird ebenfalls definiert. In Schritt **624** wird die SCHRITT-Unterroutine **523** erneut aufgerufen, um eine zweite Zeitverzögerung τ_{d2} und eine zweite Ventilbewegungsgeschwindigkeit V_2 zu erhalten. Ein zweiter zwischenliegender Verstärkungswert K_{p2} wird ebenfalls definiert.

[0162] Wenn in Schritt **626** die erste Ventilbewegungsgeschwindigkeit V_1 nicht zwischen der minimalen Geschwindigkeit V_{min} und der maximalen Geschwindigkeit V_{max} liegt, dann wird die Schrittgröße ΔU_p aktualisiert, und die Durchführung kehrt zu Schritt **622** zurück. Anderenfalls geht die Routine zu Schritt **628** weiter. Wenn in Schritt **628** die zweite zwischenliegende Geschwindigkeit V_2 nicht zwischen der minimalen Geschwindigkeit V_{min} und der maximalen Geschwindigkeit V_{max} liegt, dann wird die Schrittgröße ΔU_E aktualisiert, und die Durchführung kehrt zu Schritt **622** zurück.

[0163] Anderenfalls geht die Durchführung weiter zu Schritt **630**, wo Positionseinstellwerte P_F und P_E sowie die Totzeit T_d bestimmt werden. In Schritt **632** wird das Zeitintervall T_1 und die Totzone Z_{ea} entsprechend berechnet. Dann kehrt die Open-Loop-Einstellroutine **554** zu der Selbsteinstellungsroutine **550** zurück.

[0164] Unter Bezugnahme auf **Fig. 18** werden durch die SCHRITT-Unterroutine **623** kontinuierlich Positionsdaten Z gelesen und gespeichert, und zwar für verschiedene AUS-Signalwerte zu dem I/P-Wandler **22**. In Schritt **650** wird das AUS-Signal auf BIAS eingestellt. In Schritten **652–658** werden zwei Positionen Z_1 und Z_2 kontinuierlich gelesen und gespeichert, bis die Ventilposition relativ stabil ist. In Schritt **660** wird das AUS-Signal dann auf BIAS- $\Delta U/2$ eingestellt, und in Schritten **662–664** werden die beiden Positionen Z_1 und Z_2 kontinuierlich gelesen und gespeichert, bis die Ventilposition relativ stabil ist.

[0165] In Schritt **666** wird das AUS-Signal wieder auf BIAS eingestellt. In Schritt **668** wartet der Positionierer **12** bis das Ventil **10** stabil ist. In Schritt **670** wird das AUS-Signal auf BIAS+ ΔU eingestellt, und die Anfangsposition Z_1 wird wieder hergestellt. In Schritten **672–674** zählt ein Zähler "I", wie lange zuvor sich das Ventil **10** bewegt hat (Position Z ist wesentlich verschieden von der Anfangsposition Z_1). In Schritt **676** wird die Zeitverzögerung τ_d berechnet. In Schritten **678–682** wird der Geschwindigkeitswert V als die Veränderung hinsichtlich der Position über eine diskrete Zeitperiode bestimmt. In Schritt **684** kehrt die SCHRITT-Unterroutine **623** zu der Prozedur zurück, die sie aufgerufen hat.

[0166] Unter Bezugnahme auf **Fig. 19** schließt der Closed-Loop-Test **556** die Positionsschleife und stellt die Steuerparameter ein, um gute dynamische Antworten sowohl in öffnender wie auch in schließender Ventilbewegungsrichtung durch Verwendung von Einstellroutinen zu erreichen. Eine Positionsschleife ist ein Pfad, der einen Vorwärtspfad für das Signal, um das Betätigungsmittel und somit die Ventilposition zu steuern, einen Rückwärtspfad, der den Positionssensor **46** beinhaltet, und einen Komparator aufweist, um den Vorwärtspfad und den Rückwärtspfad zu vergleichen.

[0167] Da sich individuelle Komponenten (z.B. das Schieberventil **24**) hinsichtlich der Verstärkung verändern, ist es nicht möglich, eine konstante Gesamtschleifenverstärkung zu haben. In Schritt **700** werden zwei Zähler

COUNT und CASE auf Null gesetzt. Wenn in Schritt **702** COUNT eine vorbestimmte Grenze überschritten hat, dann wird in Schritt **704** eine Fehlernachricht auf dem Display **52** angezeigt. Anderenfalls wird in Schritten **706–708** das Ventil wiederholt bewegt, so dass die Werte T_d , T_p , Z_p , Z_{∞} , T_r , IS_+ , IS_- , V_{\max} und V_{\min} bestimmt werden können, wie vorstehend beschrieben. In Schritt **710** wird eine Flagge D Groß eingestellt. Wenn in Schritt **712** der Zähler CASE unter einer vordefinierten Grenze liegt, dann geht die Durchführung weiter zu Schritt **714**, indem das Ventil in eine erst Richtung eingestellt wird. Anderenfalls wird geht die Durchführung weiter zu Schritt **716**, indem das Ventil **10** in die entgegengesetzte Richtung eingestellt wird.

[**0168**] Unter Bezugnahme auf [Fig. 20](#) und [Fig. 21](#) berechnen die Vorwärtseinstellunterroutine **714** und die Rückwärtseinstellunterroutine **716** die Werte T_D , P_F und P_E und stellen den Zähler CASE entsprechend ein. Wenn die Vorwärtseinstellunterroutine **714** erfolgreich ist, dann wird CASE auf einen Wert eingestellt, um zu gewährleisten, dass die Rückwärtseinstellunterroutine **716** anschließend ausgeführt wird. Wenn die Rückwärtseinstellunterroutine **716** erfolgreich ist, dann wird der Test mit geschlossener Regelschleife **556** beendet.

[**0169**] Unter erneuter Bezugnahme auf [Fig. 15](#) hat die Selbsteinstellroutine **550** einige Vorteile gegenüber herkömmlichen Routinen. Die Routine **550** wird auf ein in hohem Maße nicht-lineares elektropneumatisches mechanisches System angewendet, und sogar auf solche mit einem großen Totband. Außerdem handhabt die Routine **550** das asymmetrische Verhalten der Ventilpositionsteuerung durch Einstellen von Verstärkungen für beide Ventilbewegungsrichtungen. Außerdem schätzt die Routine **550** Totzonen für Ventile mit Festsitzen-/Rutsch-Verhalten ab. Weiterhin wird durch die Routine **550** das Modellieren vereinfacht, indem lediglich die wichtigsten Charakteristiken abstrahiert werden, und verwendet diese Daten nur für die Steuerparameterabschätzung. Die abgeschätzten Parameter werden durch Schrittwerte von geschlossenen Regelschleifen verfeinert. Außerdem erfasst die Routine **550** Probleme, die das Leistungsverhalten und die Funktion des Ventils beeinflussen.

Software-Nocken für Ventil-Selbstcharakterisierung

[**0170**] Ein mechanischer Nocken ist eine Metallplatte, der in Ventilen verwendet wird. Verschieden Formen von Metallplatten verleihen dem Ventil verschiedene Charakteristiken. Die Ventilcharakteristiken sind sehr wichtig für die Strömungssteuerung in einer geschlossenen Regelschleife, wie z.B. dann, wenn eine lineare Beziehung zwischen der Ventilposition und der Strömungsrate verwendet wird. Ventilcharakteristikeinstellung ist eines der effektivsten Verfahren zum Erhalten einer konstanten Schleifenverstärkung. Die Prozessbeschränkung auf die Steuerungsausgabe, Ventilöffnung und/oder Prozessvariable muss anfänglich eingestellt werden, so dass keine unakzeptierbaren Störungen auf den Prozess während des On-Line-Testens stattfinden.

[**0171**] Die vorliegende Erfindung stellt eine Software-Routine zur Verfügung, die sich wie ein mechanischer Nocken verhält und hier als ein "Software-Nocken" bezeichnet wird. Unter erneuter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) wird in einem Ausführungsbeispiel ein Software-Nocken **750** zwischen der Ausgabe des Mikroprozessors **18** und dem D/A-Wandler **20** eingesetzt, um eine gewünschte Beziehung der Steuerungsausgabe über der Prozessvariablen zu erhalten. Es soll verstanden werden, dass der Software-Nocken **750** an verschiedenen Stellen in dem Positionierer **12** gespeichert sein kann.

[**0172**] Unter Bezugnahme auf [Fig. 22](#) leitet die Selbstcharakterisierungsroutine **552** einen On-Line-Test ein und bestimmt automatisch geeignete Ventilcharakteristiken basierend auf den Testdaten. Zuerst wird in Schritt **554** eine feststehende Ventilcharakteristik angenommen, wie zum Beispiel gleichprozentig oder linear. In Schritt **556** bewegt die Steuerung das Ventil. In Schritt **558** werden die entsprechenden Dauerzustandsvariablen (Strömung, Pegel, etc.) gemessen. In Schritt **760** werden die gemessenen Dauerzustandsvariablen mit einer gewünschten Kurve der Steuerungsausgabe gegenüber der Prozessvariablen verglichen. In Schritt **760** wird die Differenz zwischen den Dauerzustandsvariablen und einer gewünschten Beziehung der Steuerungsausgabe über der Prozessvariablen verwendet, um die Software-Ventilcharakteristik einzustellen, wodurch die Differenz minimiert wird. Der Nocken **750** wird entsprechend aktualisiert.

[**0173**] Die Selbstcharakterisierungsroutine **752** kann Trial-and-Error-Verfahren bei der Bestimmung einer Ventilcharakteristik ersetzen. Die Routine kann auf einfacher Weise auf die Mikroprozessor-basierte **18** Ventilsteuerung des Positionierers **12** angewendet werden, die ein variables Prozesssignal akzeptieren kann. Durch die Selbstcharakterisierungsroutine **552** wird die Gleichförmigkeit des Steuerleistungsverhaltens unter allen Betriebsbedingungen gewährleistet, wodurch Prozess-Nicht-Linearitäten kompensiert werden. Dadurch wird die Konstruktion der Steuerung vereinfacht, und die Einstellung der Steuerung auf einen typischen Prozesszustand vereinfacht. Außerdem kann eine Neueinstellung der Steuerung üblicherweise vermieden wer-

den, wenn sich Prozessbedingungen verändern, und ein gleichförmiges Steuerleistungsverhalten auf einfache Weise beibehalten werden.

Ausfall der I/P-Betriebsart für Ventil-Positionierer

[0174] Es wurde eine Positionsrückkopplung hinzugefügt, um die Genauigkeit von Positionierern zu verbessern. Wenn jedoch der Positionssensor oder das Positions-Rückkopplungssignal ausfällt, dann arbeitet die Positionsrückkopplung nicht mehr, die Steuerung geht verloren, und der Positionierer **12** fällt aus. In Reaktion darauf sind einige Mikroprozessor-basierte Positionierer konfiguriert, so dass im Fall von einigen Typen des Positionierer-Ausfalls, das Ventil in einem sicheren Zustand angeordnet oder arretiert wird. Wenn die Positionsrückkopplung ausfällt, dann verwendet die vorliegende Erfindung den Druckrückkopplungssensor **44** zur Steuerung der Positionierung mit einem minimalen Verlust an Genauigkeit. Daher wird durch die vorliegende Erfindung die Option der Positionierung des Ventils **10** basierend auf der Position erreicht, die von dem Betätigungsmitteldruck-Rückkopplungssignal **40** impliziert wird, und zwar auch im Fall von Positionsmessungsausfall.

[0175] Unter Bezugnahme auf [Fig. 23](#) steuert die Routine **800** den Positionierer **12**, um einen ausgefallenen Positionssensor **46** zu identifizieren, wie zum Beispiel dann, wenn der Positionierer **12** auf ungenauen Ableseungen von dem Positions-Rückkopplungssignal **42** in Reaktion von Positionssteuerungen basiert. Wenn ein ausgefallener Positionssensor erfasst wird, dann berechnet der Positionierer **12** den Betätigungsmitteldruck, der erforderlich ist, und die gewünschte Position zu erreichen, und verwendet einen Drucksteuralgorithmus, um das Ventil einzustellen.

[0176] In Schritten **802** und **804** wird der Strom- und Spannungspegel des Positionssensors **46** gemessen. In Schritten **806** und **808** wird das Positions-Rückkopplungssignal **42** empfangen und mit vorbestimmten Grenzen verglichen. Wenn die Zustände aus Schritten **80–808** die vorbestimmten Grenzen verfehlen, dann geht die Durchführung weiter zu Schritt **810**, wo der Betätigungsmitteldruck durch das Druck-Rückkopplungssignal **40** gelesen wird.

[0177] In Schritt **812** konvertiert die Steuerung eine gewünschte Ventilposition in einen entsprechenden Betätigungsmitteldruck. Eine typische Beziehung zwischen Ventilposition und Betätigungsdruck wird in dem Mikroprozessor **18** gespeichert. Diese Beziehung kann vorprogrammiert sein, wie zum Beispiel während der Herstellung des Positionierers **12**, während der Kalibrierungsroutinen bestimmt werden, oder kontinuierlich während des normalen Betriebs erhalten werden. Beispielsweise kann das Ventil **10** von einem Extrem zum anderen schlagen, und die Drücke an verschiedenen Positionen werden aufgezeichnet. Eine allgemeine Regel ist die Ventilposition als eine Funktion von mehreren Variablen:

$$\text{Ventilposition} = F(\text{Betätigungsmitteldruck, Prozessdruck, Temperatur, Reibung}) \quad (41)$$

[0178] Bei einem Federmembranbetätigungsmittel sind die Effekte vom Prozessdruck, Temperatur und Reibung im Vergleich zu dem Betätigungsmitteldruck relativ gering. Daher kann die obige Gleichung alternativ ausgedrückt werden als:

$$\text{Ventildruck} = F(\text{Betätigungsmitteldruck}) \quad (42)$$

und umgekehrt

$$\text{Betätigungsmitteldruck} = F^{-1}(\text{Ventilposition}) \quad (43)$$

[0179] Daher kann der Positionierer **12** den Betätigungsmitteldruck aus der gewünschten Ventilposition mit einem moderaten Genauigkeitspegel bestimmen.

[0180] In Schritt **814** stellt eine Positionssteuerroutine den Betätigungsmitteldruck ein, um die gewünschte Position zu erreichen, die aus dem Druck-Rückkopplungssignal **40** bestimmt wird. Wenn alternativ in Schritt **808** alle Spannungs- und Positionsüberprüfungen akzeptierbar waren, dann stellt die Positionssteuerroutine in Schritt **816** den Betätigungsmitteldruck ein, um die gewünschte Position zu erreichen, die aus dem Positions-Rückkopplungssignal **42** bestimmt wird.

[0181] Das Lecken an dem Sitz von einem Ventil war schon immer ein wesentliches Steuersystemproblem und eine Ursache für Wartungskosten für Ventile allgemein. Das Lecken kann durch normale Abnutzung, übermäßige Abnutzung in Folge von eingeschlossenen Fremdmaterialien oder übermäßiges Drosseln bei geringer Anhebung verursacht werden.

[0182] Eine Ursache von Sitzleckproblemen, die nicht genau vorhergesagt werden können, ist der Einschluss von Fremdmaterial zwischen den Elementen des Ventilsitzes **68**, wenn das Ventil geschlossen wird. Das Fremdmaterial kann während der nachfolgenden Schließvorgänge nicht mehr vorhanden sein, und das Ventil kann vollständig geschlossen erscheinen. Abhängig von Anwendungsbedingungen, sogar bei den kleinsten Beschädigungen des Sitzes **68** infolge von eingeschlossenem Material, können übermäßige Sitzabnutzung und Beschädigungen während zukünftiger langer Perioden im geschlossenen Zustand zu hohem Druckabfall führen.

[0183] Ein weiteres Problem, das Sitzlecken verursachen kann, tritt in Ventilen auf, die sehr fest schließen (es ist annähernd kein Lecken erlaubt), und bei Verwendung von weichen elastischen Materialien für den Sitz **68**, um das beste Schließverhalten zu erreichen. Bei moderaten bis hin zu hohen Druckabfallzuständen kann das Drosseln bei sehr geringer Anhebung zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten führen, wodurch das elastische Sitzmaterial leicht beschädigt oder zerstört werden kann.

[0184] Eine Vielzahl von Verfahren wurde verwendet, um die Leckprobleme zu lösen, einschließlich die Überwachung von stromabwärts gelegenen Komponenten unter Verwendung pneumatischer Relais, um das Drosseln bei geringer Anhebung zu überwinden, und es wurde Wartungspläne erstellt, die auf einer abgeschätzten Abnutzung beruhen. All diese Verfahren haben Nachteile, die mit Hilfe der vorliegenden Erfindung überwunden werden.

[0185] Durch das Überwachen der Temperatur von stromabwärts gelegenen Komponenten (Rohrleitungen) und/oder Ultraschallvibrationsüberwachung des Steuerventilschafts wird lediglich ein Leckproblem erkannt, das bereits aufgetreten ist, und signifikante Schäden und Verlust an Prozesseffizienz können resultieren, bevor das System zwecks Reparatur heruntergefahren werden kann. Im Gegensatz dazu wird durch die Routinen der vorliegenden Erfindung, wie im Detail unter Bezugnahme auf [Fig. 24–Fig. 26](#) beschrieben, ein verbessertes Vorhersageverfahren zur Verfügung gestellt, um eine korrekte Steuerventilwartung zu ermöglichen, bevor das Lecken aufgetreten ist, was daher zu einer preiswerteren Lösung führt.

[0186] Ein pneumatisches Relais, das an dem pneumatischen Betätigungsmittel installiert ist, erlaubt es dem Ventil nicht, sich bei Anhebesignalen unterhalb eines minimalen Einstellsteuersignals zu öffnen, wodurch Abnutzung durch Drosseln bei geringer Anhebung verhindert wird. Das Problem bei dieser Lösung besteht darin, dass es dem Ventil nicht erlaubt wird, sich auch nicht in dem Bereich zwischen geschlossen (abgedichtet) und dem unteren Anhebeeinstellpunkt für eine kurze Zeitdauer zu öffnen, was nicht schädigend sein kann. Die vorliegende Erfindung stellt einige Sitzzustandsdiagnoseroutinen ([Fig. 24–Fig. 26](#)) für den Positionierer **12** zur Verfügung, die kontinuierlich die Zeit überwachen, die das Ventil **10** mit Drosseln bei sehr geringer Anhebung verbringt. Diese Routinen überwachen sowohl die Zeit, in der das Ventil **10** geschlossen ist, als auch die Zeit, in der das Ventil unter Schließzuständen annähernd geschlossen ist, wobei eine laufende Gesamtaufzeichnung dieser Zeiten gespeichert wird. Die Routinen können ein Drosseln (Throttling) über den Bereich mit geringer Anhebung für eine spezielle Zeit erlauben, bevor eine Warnung erfolgt oder der minimale Einstellpunkt angewendet wird (das Ventil wird geschlossen). Die aufgezeichneten Daten können dann mit der Zeitdauer verglichen werden, die das Ventil **10** während des Systembetriebs in geschlossenem Zustand verbracht hat, um die Wahrscheinlichkeit von Sitzleckproblemen zuzuweisen.

[0187] Wartungspläne werden für Steuerventile basierend auf den vergangenen Service-Erfahrungen von ähnlichen Ventilen in ähnlichen Service- und Anwendungsbedingungen erstellt, und nicht basierend auf dem tatsächlichen Leistungsverhalten des speziellen Ventils. Die Verwendung dieser Zeitpläne kann zu einer vorzeitigen Wartung des Systems führen, das effizient arbeitet, oder zu Ventilsitzlecken führen, und zwar vor dem vorhergesagten Wartungstermin, wodurch Betriebsprobleme des Systems und eine signifikante Stillstandszeit außerhalb des Wartungsplans bewirkt werden. Ein leckendes Steuerventil kann außerdem übermäßiges Ventiltrimmen und Körperabnutzung hervorrufen, was zu signifikanten zusätzlichen Reparaturkosten führt, die sonst durch frühere Erfassung hätten vermieden werden können. Im Gegensatz dazu stellen die Routinen der vorliegenden Erfindung ([Fig. 24–Fig. 26](#)) wahre Betriebsdaten zur Verfügung, die zu einer genaueren Vorhersage für die erforderlichen Ventilwartungspläne führen, wodurch die gesamten Betriebskosten der Steuerven-

tilanwendung verringert werden. Die vorliegenden Routinen erfordern kein unabhängiges Testen, Systemisolation oder Systemabschaltung für prädiktive Ventilsitzwartungsanforderungen. Diese Entscheidungen können während des normalen Systemsbetriebs erfolgen, wodurch zusätzliche Kosten der Isolation und des Testens von Programmen eingespart werden.

[0188] Die vorliegende Routinen ([Fig. 24–Fig. 26](#)) beinhalten eine Sitzabnutzungsdiagnoseroutine **830** für geringe Anhebung, eine Ventilsitzschließdiagnoseroutine **832** und eine Einstellroutine **834** für minimal steuerbare Anhebung. Diese Routinen können das Ventil **10** schließen, wenn das Steuerventileingangssignal eine Drosselanhebung unterhalb eines vorbestimmten Einstellpunkts erforderlich macht (basierend auf Anwendungsbedingungen). Wenn es für den Systemsteuerbetrieb akzeptierbar ist, können die Routinen das Drosseln bei geringer Anhebung verhindern, wodurch der Ventilsitz beschädigt werden kann.

[0189] Unter Bezugnahme auf [Fig. 24](#) beginnt die Sitzabnutzungsdiagnoseroutine **830** für geringe Anhebung bei Schritt **840**, wenn der Benutzer oder die Fabrik diese Option wählt und basierend auf Servicebedingungen Grenzwerte einstellt. Die Grenzwerte beinhalten eine Minimum-Drossel-Anhebebeziehung (L_m), bei der nur eine geringe oder keine Erosion des Sitzes **62** stattfindet, und eine maximale Drosselzeit (t_m), die unterhalb dieser Anhebung erlaubt ist. Diese Grenzwerte werden in einem nichtflüchtigen Speicher **48** gespeichert. In Schritt **842**, während des normalen Betriebs, misst der Positionierer **12** periodisch die aktuelle Anhebebeziehung (L_c) und liefert eine Rückkopplung **42** an den Mikroprozessor **18**. In Schritt **844** wird die aktuelle Anhebung L_c mit der minimalen Anhebung L_m durch den Mikroprozessor **18** verglichen. In Schritt **846** bestimmt der Mikroprozessor, ob sich das Ventil in der geschlossenen Position befindet. Wenn das Ventil **10** nicht geschlossen ist ($L_c >$ geschlossenen Position) und wenn $L_c < L_m$, dann wird die gesamte Laufzeit t_c aufgezeichnet, bis entweder $L_c \geq L_m$ oder bis das Ventil geschlossen ist. In Schritt **848** wird die Zeit t_c periodisch mit der maximalen Zeit t_m verglichen. In Schritt **850**, wenn $t_c > t_m$, wird eine Diagnosenachricht, wie z.B. "VENTILSITZINSPEKTION IST ERFORDERLICH" auf dem Display **52** angezeigt.

[0190] Unter Bezugnahme auf [Fig. 25](#) beginnt die Ventilsitzschließdiagnoseroutine **832** bei Schritt **860**, wenn der Benutzer oder die Fabrik diese Option wählt und Grenzwerte basierend auf Servicebedingungen einstellt. Die Grenzwerte beinhalten eine maximale Sitzleckzeit (t_l) während des geschlossenen Zustands des Ventils **10**. Außerdem wird ein Anfangswert für die Laufzeit t_s bestimmt. In Schritt **862**, nach der anfänglichen Installation oder dem Ventileinstellungspolieren und der Kalibrierung, wird die genaue Ventilposition für Öffnen und Schließen (L_s) durch das Positions-Rückkopplungssignal **42** an den Mikroprozessor **18** geleitet. In Schritt **864**, für nachfolgende Schließvorgänge des Ventils **10**, wird eine Position des geschlossenen Ventils (L_{si}) durch das Positions-Rückkopplungssignal **62** an den Mikroprozessor **18** geführt und aufgezeichnet. In Schritt **866** wird die geschlossene Anhebebeziehung L_{si} mit der exakten Ventilposition für das Schließen L_s verglichen. Wenn in Schritt **868** die geschlossene Hebebeziehung L_{si} größer ist als die exakte Ventilposition für das Schließen L_s , dann wird in Schritt **870** die gesamte Laufzeit t_s aufgezeichnet. Die Durchführung geht dann weiter zu Schritt **872**, wo die Laufzeit t_s mit der maximalen Sitzleckzeit t_l verglichen wird. Wenn $t_s > t_l$, dann stellt der Positionierer **12** eine Diagnosenachricht auf dem Display **52** zur Verfügung, wie z.B. "VENTILSITZINSPEKTION IST ERFORDERLICH".

[0191] Anderenfalls kehrt die Durchführung zurück zu Schritt **864**.

[0192] Unter Bezugnahme auf [Fig. 26](#) beginnt die Einstellroutine **834** für minimal steuerbare Ventilanhebung in Schritt **880**, wenn der Benutzer oder die Fabrik diese Option wählt und Grenzwerte basierend auf Servicebedingungen einstellt. Diese Grenzwerte beinhalten eine minimale steuerbare Hebebeziehung (L_{cm}) basierend auf dem minimal erforderlichen steuerbaren Strömungspegel in Prozent der maximalen Ventilbewegung. In Schritt **882**, während des normalen Betriebs, misst der Positionierer **12** periodisch eine aktuelle Hebebeziehung (L_{ci}), die durch das Positions-Rückkopplungssignal **42** an den Mikroprozessor **18** geliefert wird. Die aktuelle Hebebeziehung L_{ci} ist ein Durchschnitt von zwei Messwerten, die im Abstand von 10 Sekunden aufgenommen werden. In Schritt **884** wird die aktuelle Hebebeziehung L_{ci} mit der minimalen steuerbaren Hebebeziehung L_{cm} verglichen. Wenn $L_{ci} < L_{cm}$, dann liefert der Positionierer **12** eine Diagnosenachricht auf dem Display **52**, wie z.B. "VERLETZUNG DER VENTIL-MINIMUM-HEBEEINSTELLUNG".

[0193] In einigen Ausführungsbeispielen kann das Ventil **10** über die Position L_{cm} hinaus geöffnet werden. Anderenfalls kehrt die Durchführung zurück zu Schritt **882**.

[0194] Die vorstehend beschriebenen Diagnoseroutinen ([Fig. 24–Fig. 26](#)) stellen einige zusätzliche Vorteile zur Verfügung. Die Routinen liefern den minimalen steuerbaren Ventilhebebeziehung L_{cm} , der basierend auf dem

Ventiltyp **10** und Anwendungsservicebedingungen eingestellt werden kann. Die Routinen zeichnen außerdem die funktionale Drosselzeit t_c des Ventils auf, die an oder unter dem Hebepunkt L_m verstreicht. Die Routine liefert eine Warnmeldung, wenn mehrere Zeitperioden vorbestimmte Grenzwerte überschreiten. Die Routinen können so kombiniert werden, um das Ventil **10** zu schließen, wenn die funktionale Drosselzeit t_s des Ventils bei oder unter dem minimal steuerbaren Hebepunkt L_{cm} die Zeit t_m übersteigt.

[0195] Außerdem liefern die Routinen einen genauen Ventilschließpositionsvergleich bezüglich der anfänglich eingestellten Schließposition (Schließableitung). Die Routinen können außerdem die Zeit aufzeichnen, die das Ventil in einer Schließableitungsposition verbracht hat. Die Routinen liefern eine Warnung, wenn die Schließableitung während einer eingestellten Dauer auftritt. Die Routinen zeichnen außerdem eine Gesamtzeit auf, die das Ventil während des Systemsbetriebs geschlossen war. Außerdem vergleichen die Routinen die funktionale Drosselzeit, die an oder unter dem minimal steuerbaren Anhebepunkt verstrichen ist, und die Gesamtzeit, die das System während des Systembetriebs geschlossen war, und zwar hinsichtlich einer bestimmten Grenzwerteinstellung für die Anwendung, und liefert die verbleibende Betriebszeit, die erlaubt wird, bevor eine Ventilsitzwartung erforderlich ist.

Expertensystembeschränkungen bei Kundencharakterisierung

[0196] Um eine Kunden-Strömungscharakteristik für das Ventil **10** zur Verfügung zu stellen, hat der Positionierer **12** eine Betriebsart, wie eine Darstellung auf dem Display **52** zur Verfügung stellt, die einen vollständigen Bereich der Strömungskapazität und einen vollständigen Bereich des Eingangssignals darstellt. Obwohl die extremen Punkte für Strömungskapazität sowie Eingangssignal von 0 und 100% voreingestellt sind, sind zwischenliegende Punkte auf der Darstellung vollständig nach Kundenwunsch wählbar. Daher kann der Benutzer die Punkte auf der Darstellung verändern und dadurch die Strömungscharakteristik nach Kundenwunsch einstellen.

[0197] Unter Bezugnahme auf [Fig. 27–Fig. 28](#) kann das Display **52** beispielsweise eine Darstellung **890** enthalten. Die Darstellung **890** hat eine vertikale Achse, die bezüglich der Strömungskapazität des Ventils **10** normalisiert ist, und eine horizontale Achse, die bezüglich des Ventileingangssignals normalisiert ist. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind zwei Werte für die Darstellung **890** voreingestellt: Punkt **891** gibt eine Strömungskapazität von 0% an, wenn das Ventil vollständig geschlossen ist, und Punkt **892** gibt eine Strömungskapazität von 100% an, wenn das Ventil vollständig geöffnet ist. Es soll verstanden werden, dass andere Ausführungen solche Beschränkungen nicht haben müssen.

[0198] Zwischen den Punkten **891** und **892** gibt es einige zusätzliche Punkte, die die vom Kunden gewünschte Charakterisierungsfunktion F_c für das Ventil definieren. Jeder der einzelnen Punkte kann bewegt werden, wodurch ein sehr einfaches Verfahren zum Modifizieren der Charakterisierungsfunktion zur Verfügung gestellt wird. Durch Vorsehen der Charakterisierungsfunktion, die beschrieben wurde, kann diese außerdem einfach als eine Tabelle von (Position, Kapazität) Koordinaten in dem Speicher **48** gespeichert werden.

[0199] Beispielsweise kann der Benutzer einen Punkt **893** auswählen oder bewegen, und diesen in eine neue Position auf der Darstellung **890** bewegen, und zwar unter Verwendung einer Zeigervorrichtung **894**. Wenn die Punkte bewegt wurden, dann verbindet die Steuerung die Punkte wieder, um für das Ventil eine vollständig auf den Kunden zugeschnittene Strömungscharakteristik zur Verfügung zu stellen.

[0200] In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel hat der Positionierer eine gewisse Steuerung über die Punktauswahl, um eine schädlich Charakterisierung zu verhindern. Wenn der Benutzer beispielsweise versucht, den Punkt **893** in eine Position **895** zu bewegen, dann kann in dem vorliegenden Beispiel gesehen werden, dass diese Position eine Neigungsumkehr bewirkt (d.h. das Vorzeichen der Neigung für die Strömungscharakteristik wird umgeschaltet). In Reaktion darauf alarmiert die Steuerung den Benutzer und verhindert eine Eingabe des Wertes, wie dies beispielsweise in der Dialog-Box **898** in [Fig. 28](#) gezeigt ist.

[0201] Die Steuerung kann ebenfalls erfordern, dass die Strömungscharakteristik gewissen Industriestandard-Strömungscharakteristiken entspricht. Beispielsweise darf die Neigung zwischen zwei beliebigen Punkten nicht größer sein als das Doppelte oder nicht kleiner als die Hälfte der Neigung der vorhergehenden zwei Punkte. Wenn dies der Fall ist, kann eine Dialog-Box, ähnlich der Box **898**, den Benutzer alarmieren.

[0202] Unter Bezugnahme auf [Fig. 29](#) führt die Routine **900** einige der vorstehend beschriebenen Merkmale aus. In Schritt **902** empfängt die Steuerung die Charakterisierungsveränderungsanfrage von dem Benutzer. In Schritt **904** überprüft die Steuerung, um zu sehen, ob diese eine Neigungsumkehr der Strömungscharakteristik

in dem Ventil **10** ist. Wenn dies der Fall ist, dann wird der Benutzer in Schritt **906** informiert (z.B. über das Display **52**), und in Schritt **906** überprüft die Steuerung, um zu sehen, ob der Benutzer den erfassten Zustand übersteuert hat. Wenn dies nicht der Fall ist, dann kehrt die Durchführung zurück zu Schritt **902**. Wenn der Benutzer den Zustand übersteuert hat, oder wenn es keine Neigungsumkehr gibt, dann bestimmt der Positionierer in Schritt **910**, ob die Neigungsumkehr eine unerwünschte Umkehr in der Ventilverstärkung bewirkt. Wenn dies der Fall ist, dann wird der Benutzer in Schritt **912** informiert (z.B. über das Display **52**), und die Steuerung prüft in Schritt **914**, um zu sehen, ob der Benutzer den erfassten Zustand übersteuert hat. Wenn dies nicht der Fall ist, dann kehrt die Durchführung zurück zu Schritt **902**. Wenn der Benutzer den Zustand übersteuert hat, oder wenn die Ventilverstärkung akzeptierbar ist, dann aktiviert die Steuerung in Schritt **916** den vom Benutzer angeforderten Positionswechsel.

[0203] Es soll verstanden werden, dass Modifikationen, Änderungen und Ersetzungen in der vorhergehenden Offenbarung beabsichtigt sind, und in einigen Fällen werden einige Merkmale der Erfindung ohne eine entsprechende Verwendung anderer Merkmale benutzt. Folglich ist es offensichtlich, dass die beiliegenden Ansprüche breit und in einer Weise ausgelegt werden sollen, die dem Schutzbereich der Ansprüche entspricht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Schaffung einer nicht-linearen Positionssteuerung für ein Ventil (**10**), wobei das Verfahren umfasst:

Berechnen einer ersten Verstärkung für das Ventil (**10**), das sich in einer ersten Richtung bewegt und Berechnen einer zweiten Verstärkung für das Ventil (**10**), das sich in einer zweiten Richtung (**630**) bewegt; wobei das Verfahren ferner gekennzeichnet ist durch:

Berechnen einer einstellbaren Verstärkung zur Kompensation für größenbezogene und positionsbezogene Ventil-Nichtlinearitäten (**524**);

Aufnehmen eines gewünschten Positionssignals für das Ventil (**500**); und

Einstellen der gewünschten Position durch die einstellbare Verstärkung und entweder die erste oder zweite Verstärkung, um ein berechnetes Positionssignal für das Ventil (**534**) zu ermitteln.

2. Verfahren nach Anspruch 1, ferner gekennzeichnet durch:

Ermitteln einer Totzone für ein Festsitzen-/Rutsch-Verhalten des Ventils (**516**);

Ermitteln eines Dämpfungskoeffizienten zum Kompensieren für gewünschte Ventilansprechverhalten (**510**); und

Einstellen der gewünschten Position durch die Totzone und den Dämpfungskoeffizienten, um ferner das berechnete Positionssignal für das Ventil (**534**) zu ermitteln.

3. Verfahren nach Anspruch 1, ferner gekennzeichnet durch:

Ermitteln einer integralen Dauerzustandssteuerung zum Korrigieren eines Dauerzustandsfehlers (**520**); und

Einstellen der gewünschten Position durch die integrale Dauerzustandssteuerung, um ferner das berechnete Positionssignal für das Ventil (**534**) zu ermitteln.

4. Positionierer zum Schaffen einer nicht-linearen Positionssteuerung für ein Ventil (**10**), mit:

Mitteln zum Berechnen einer ersten Verstärkung für das Ventil, das sich in einer ersten Richtung bewegt, und mit Mitteln zum Berechnen einer zweiten Verstärkung für das Ventil, das sich in einer zweiten Richtung bewegt, wobei der Positionierer (**12**) ferner gekennzeichnet ist durch:

Mittel zum Berechnen einer einstellbaren Verstärkung zur Kompensation für größenbezogene und positionsbezogene Ventil-Nichtlinearitäten (**524**);

Mittel zum Aufnehmen eines gewünschten Positionssignals für das Ventil (**500**); und

Mittel zum Einstellen der gewünschten Position durch die einstellbare Verstärkung und entweder die erste oder zweite Verstärkung, um ein berechnetes Positionssignal für das Ventil (**534**) zu ermitteln.

5. Positionierer nach Anspruch 4, ferner gekennzeichnet durch:

Mittel zum Ermitteln einer Totzone für ein Festsitzen-/Rutsch-Verhalten des Ventils (**516**); und

Mittel zum Ermitteln eines Dämpfungskoeffizienten zum Kompensieren für gewünschte Ventilansprechverhalten (**510**);

wobei das Einstellmittel auch die gewünschte Position mit Hilfe der Totzone und des Dämpfungskoeffizienten einstellt, um ferner das berechnete Positionssignal für das Ventil (**534**) zu ermitteln.

6. Positionierer nach Anspruch 4, ferner gekennzeichnet durch:

Mittel zum Ermitteln einer integralen Dauerzustandssteuerung zum Korrigieren eines Dauerzustandsfehlers

(**520**); wobei das Einstellmittel auch die gewünschte Position mit Hilfe der integralen Dauerzustandssteuerung einstellt, um ferner das berechnete Positionssignal für das Ventil (**534**) zu ermitteln.

Es folgen 24 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

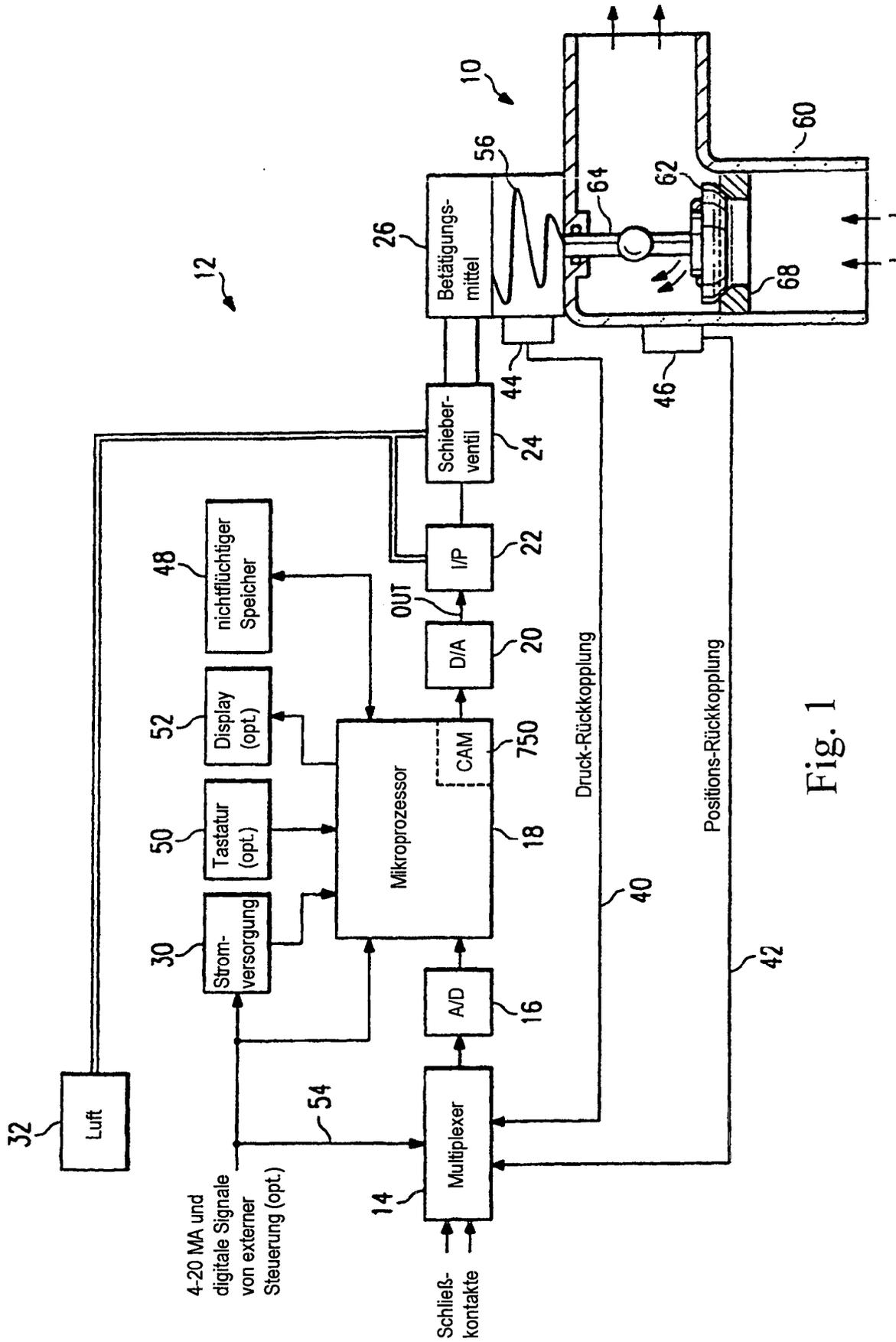


Fig. 1

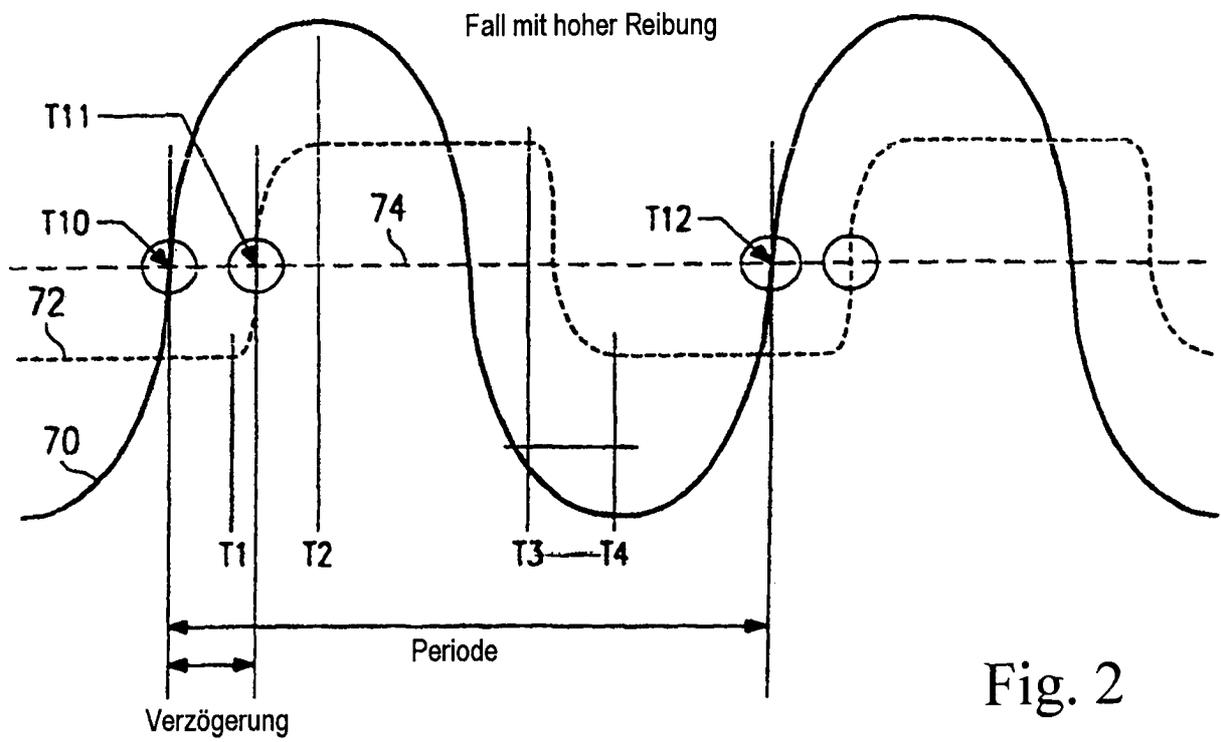


Fig. 2

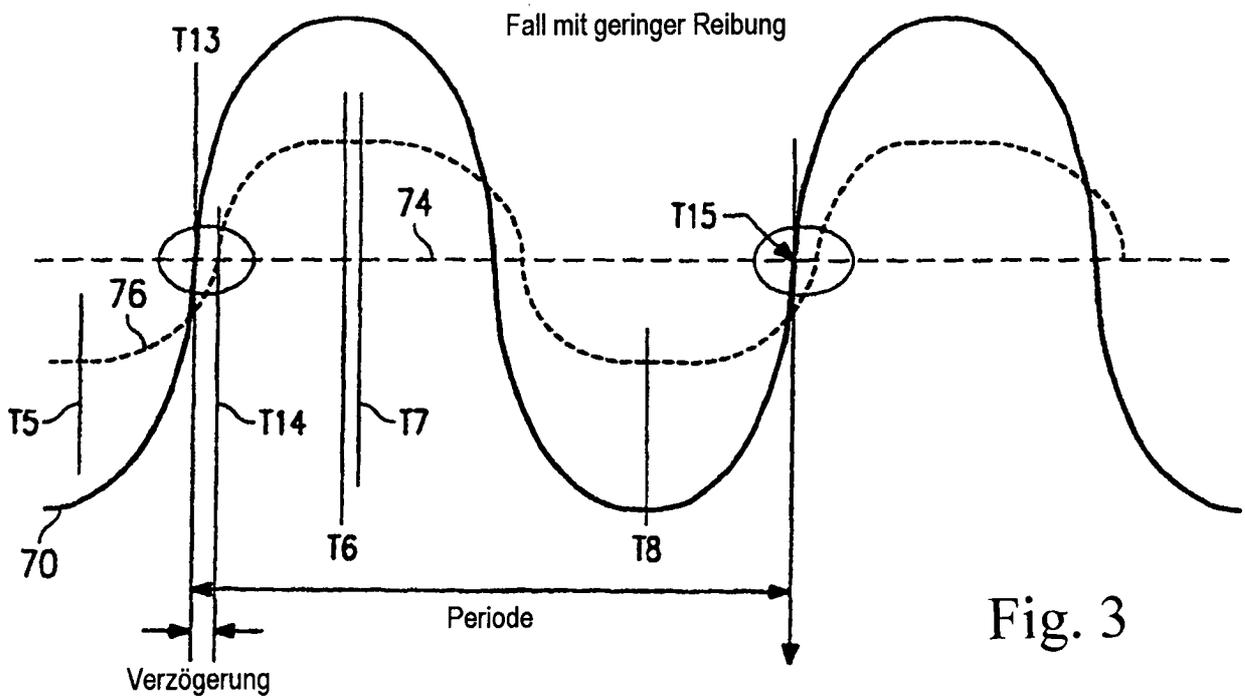


Fig. 3

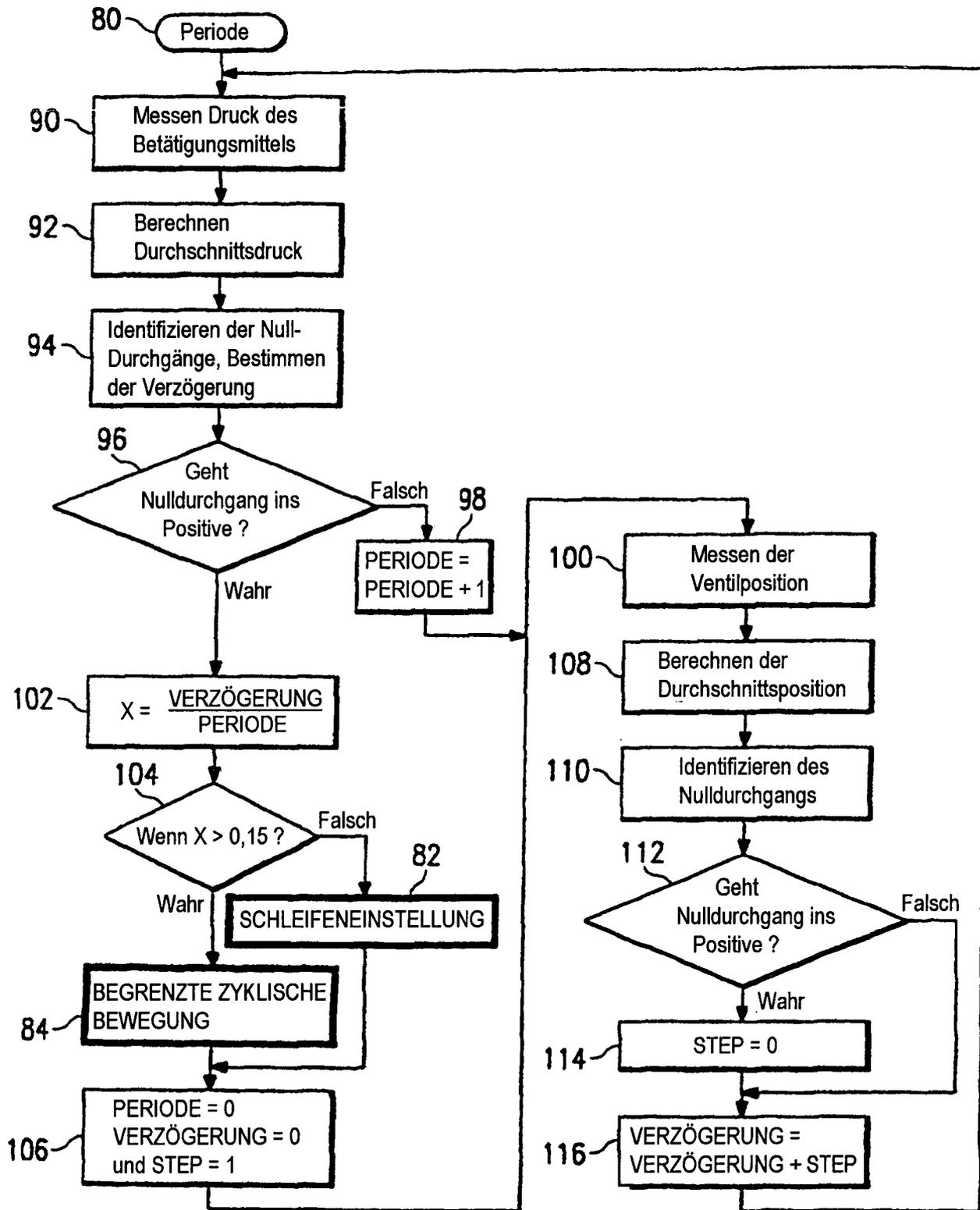


Fig. 4

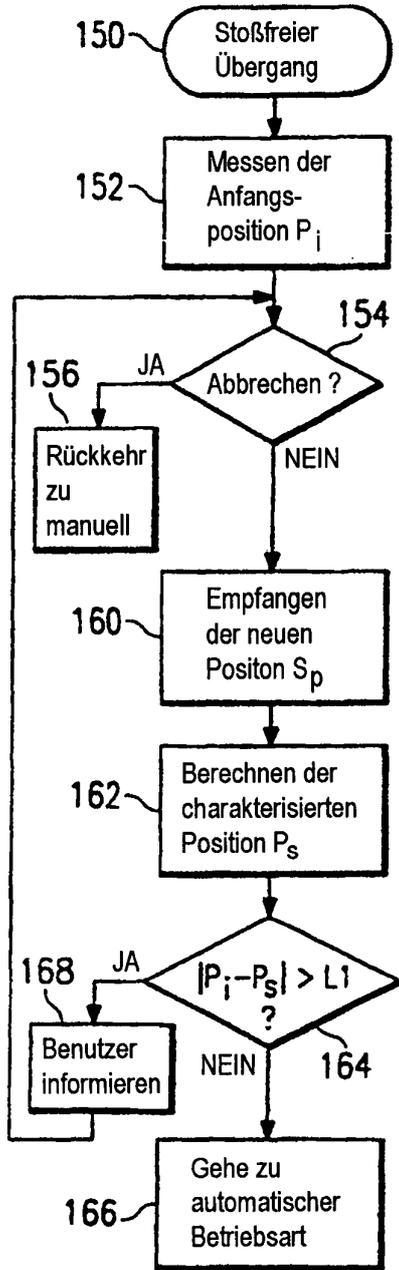


Fig. 5

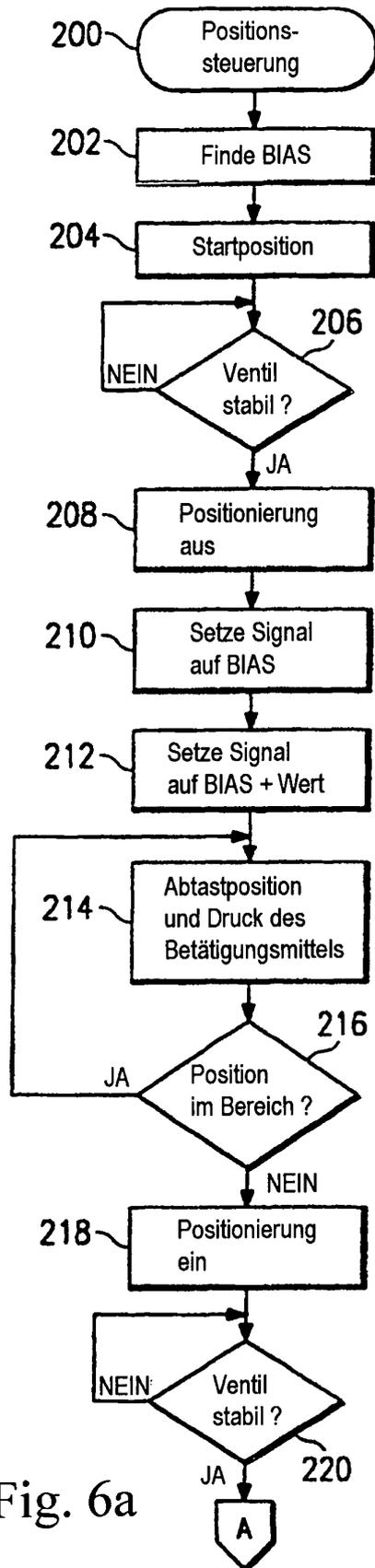


Fig. 6a

zu Fig. 6b

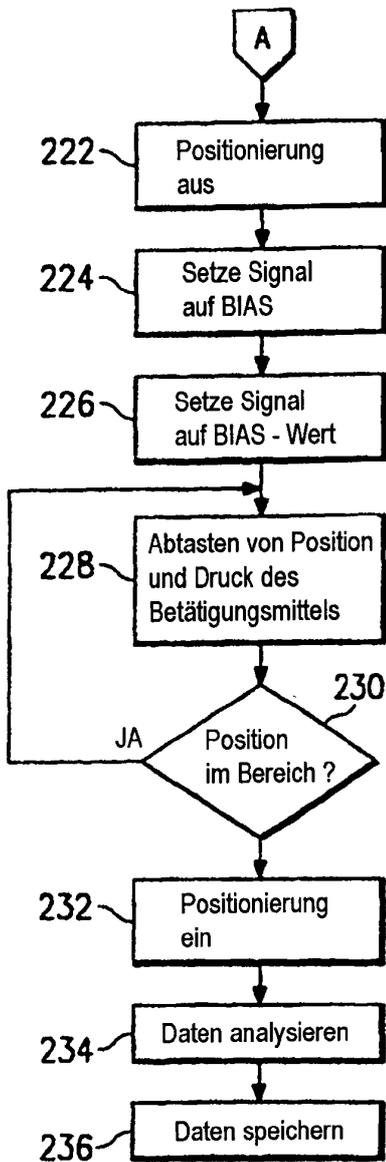


Fig. 6b

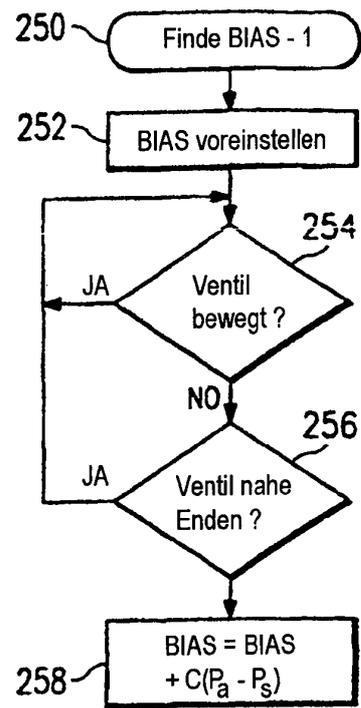


Fig. 7a

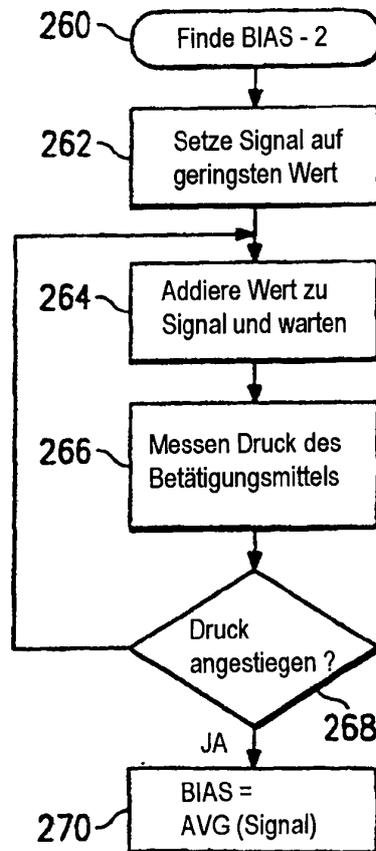


Fig. 7b

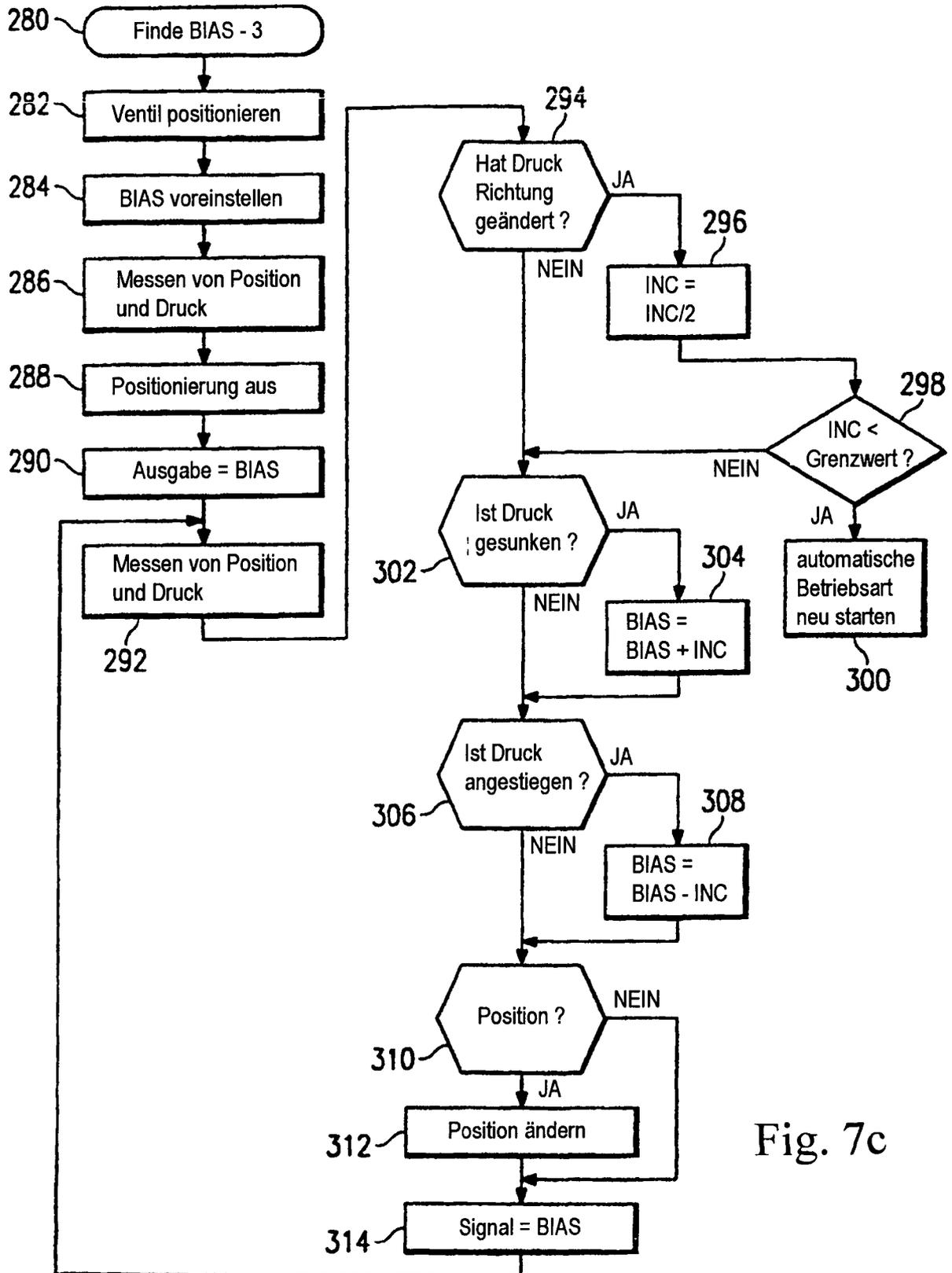


Fig. 7c

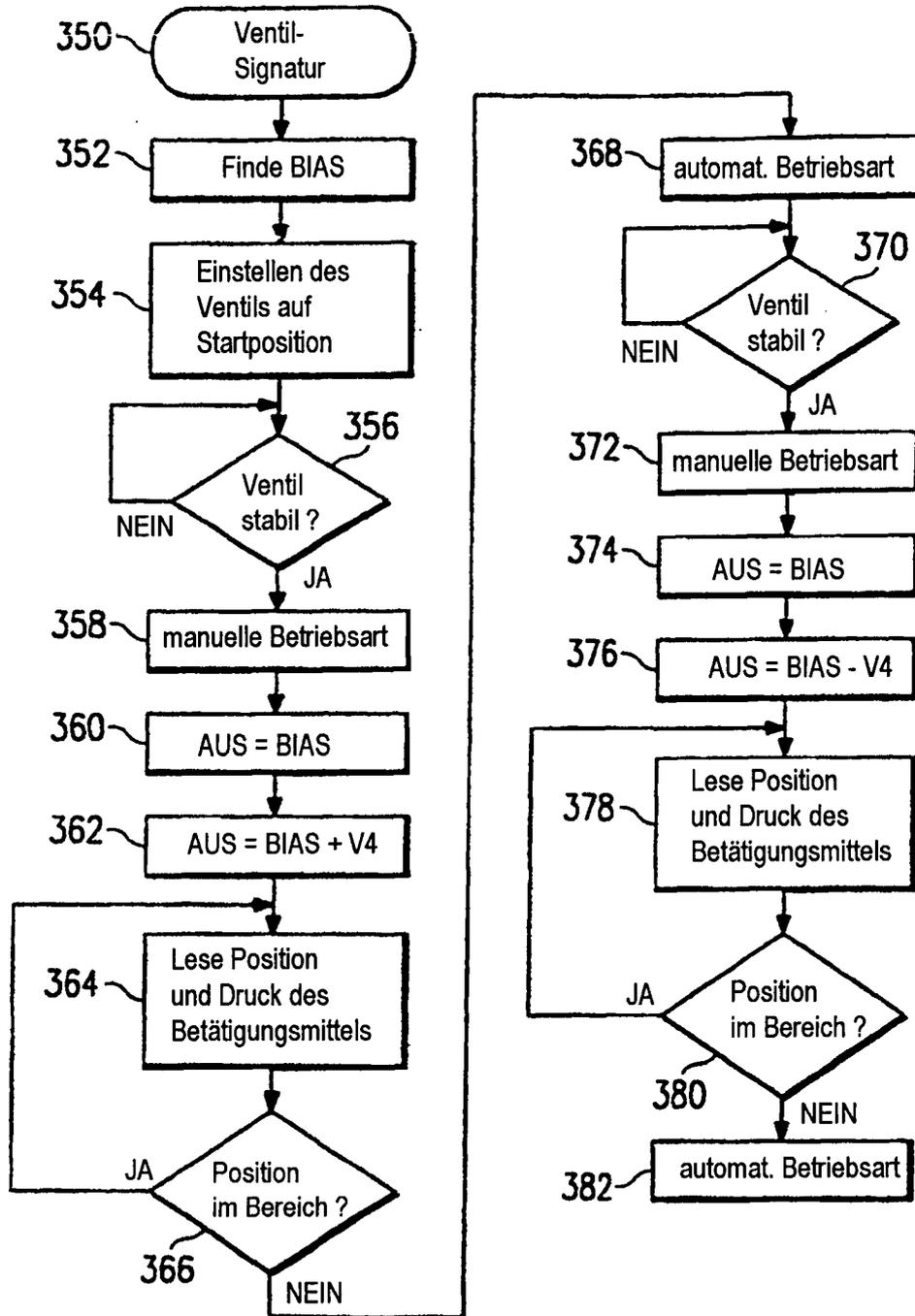
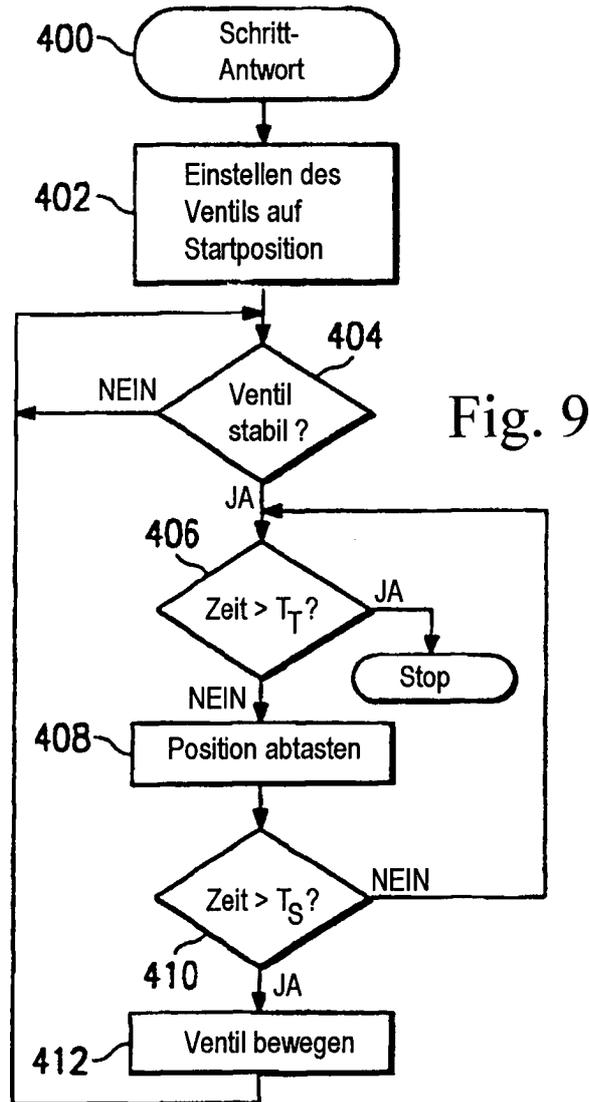


Fig. 8



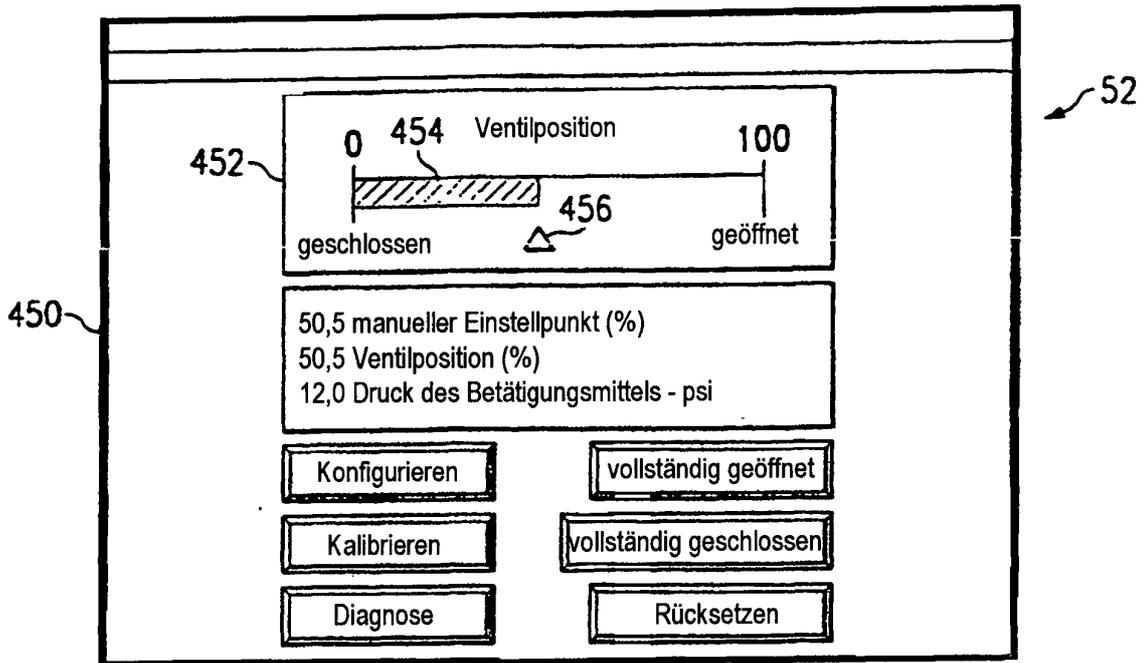


Fig. 10a

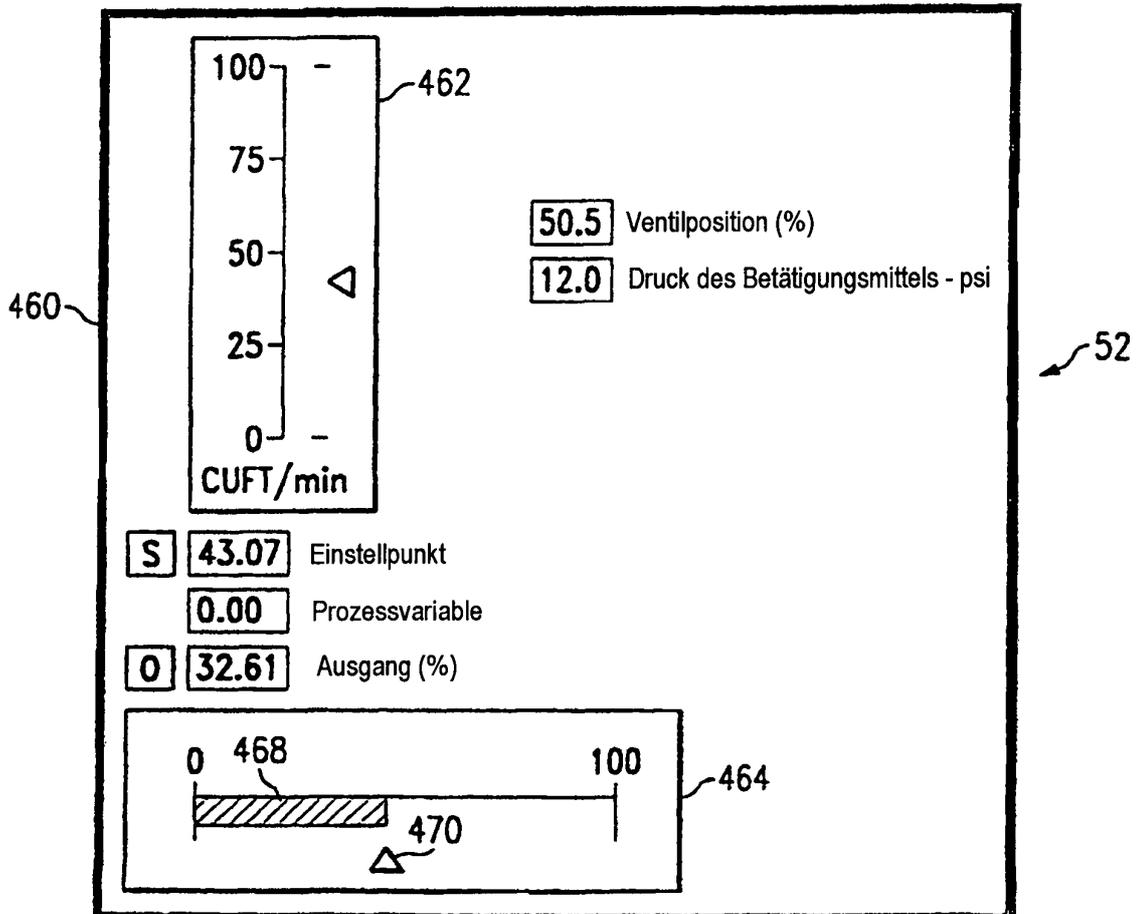


Fig. 10b

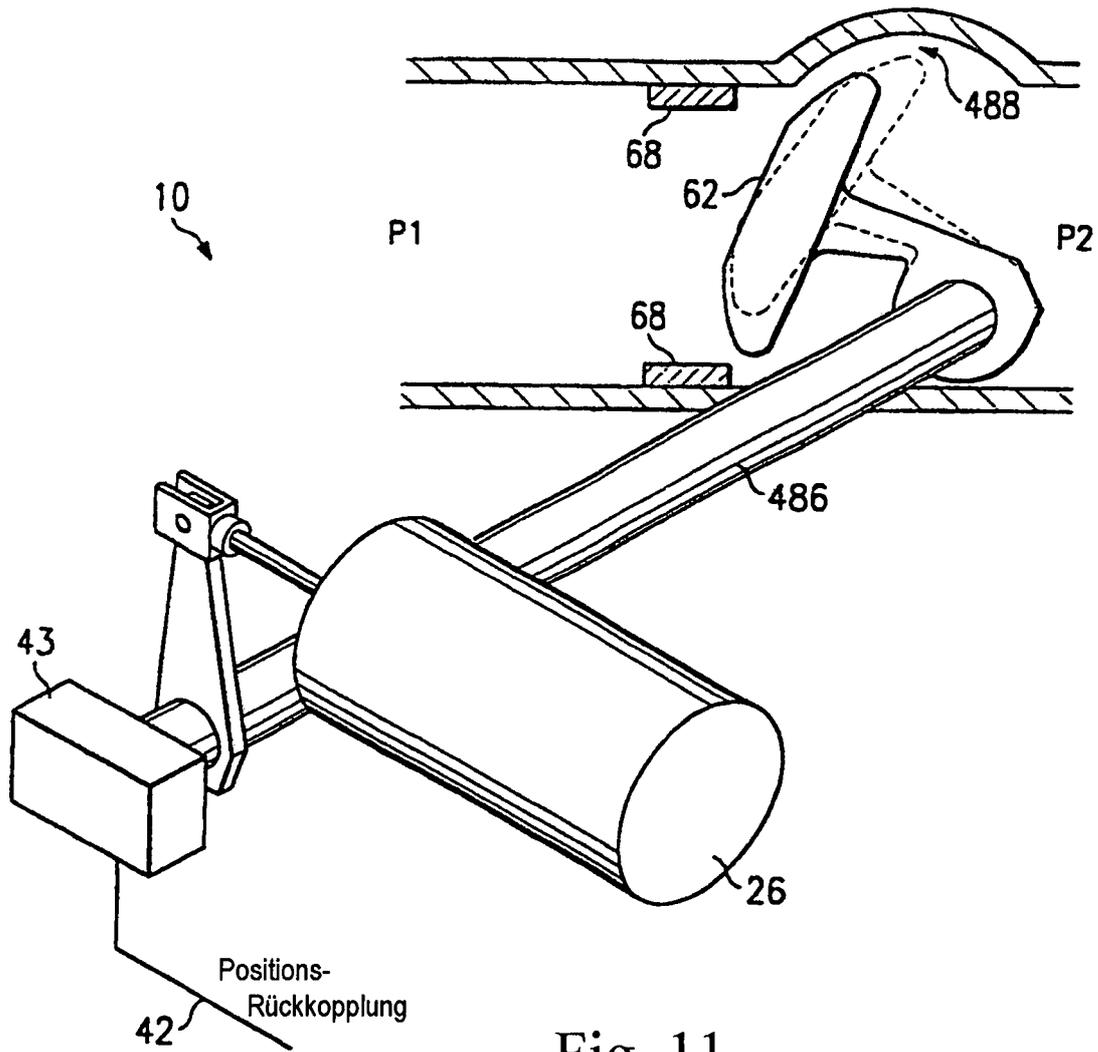


Fig. 11

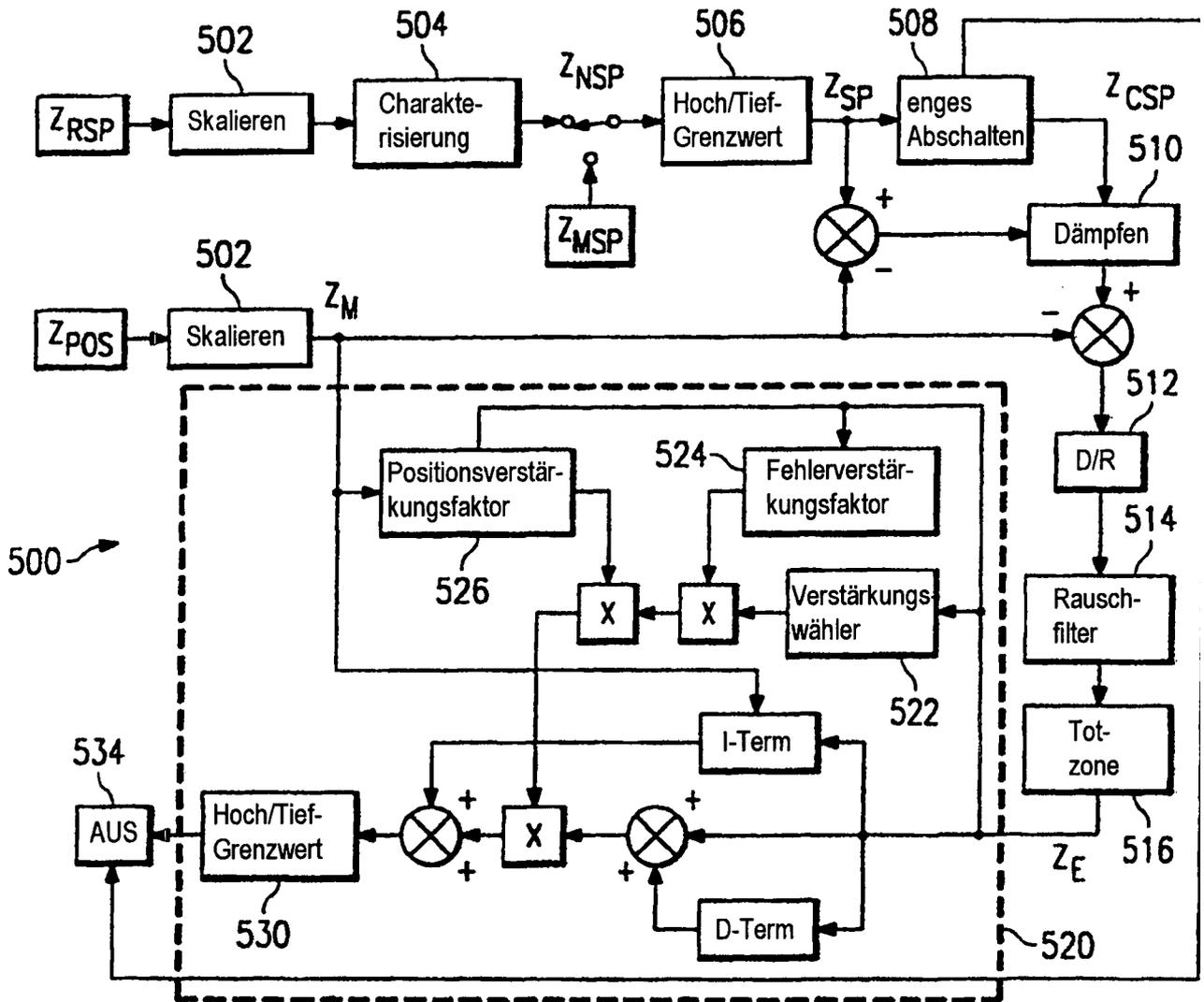


Fig. 12

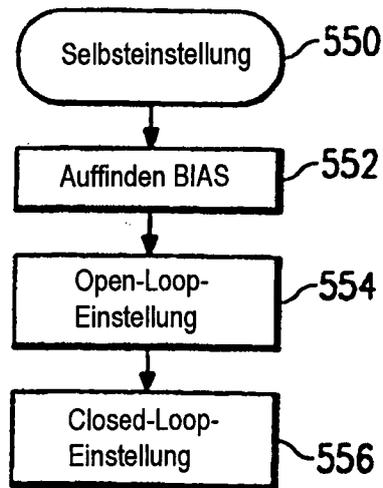
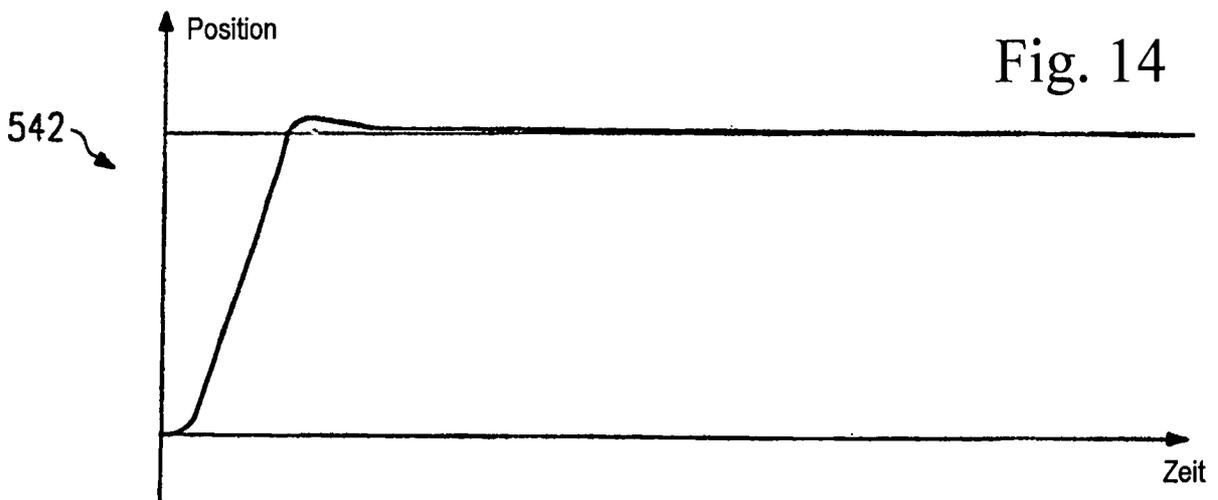
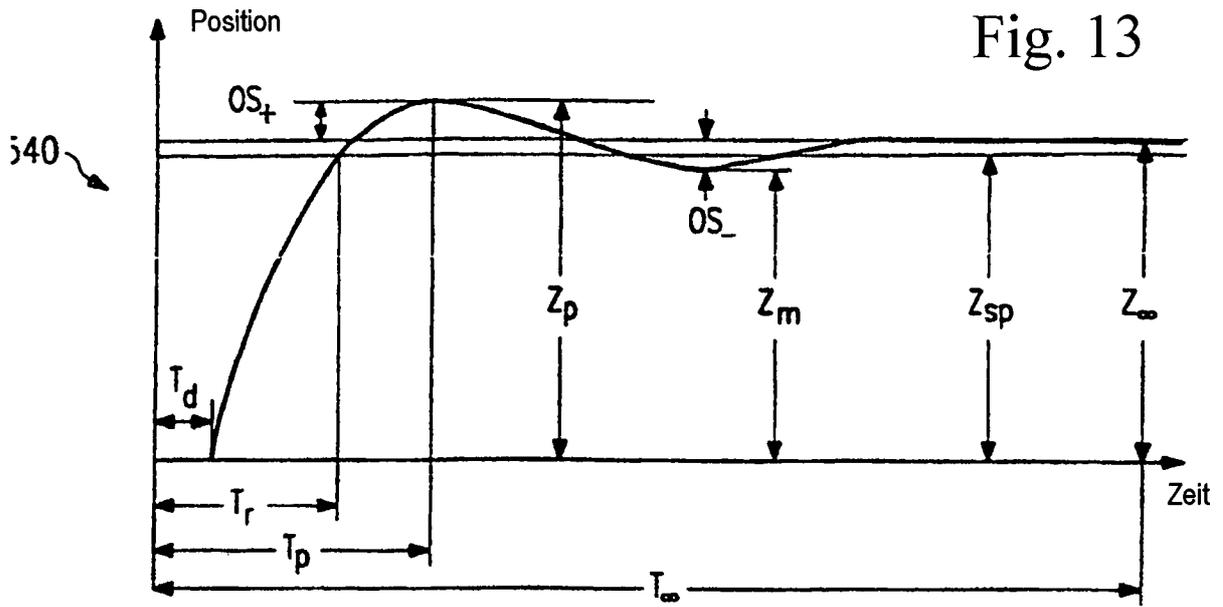
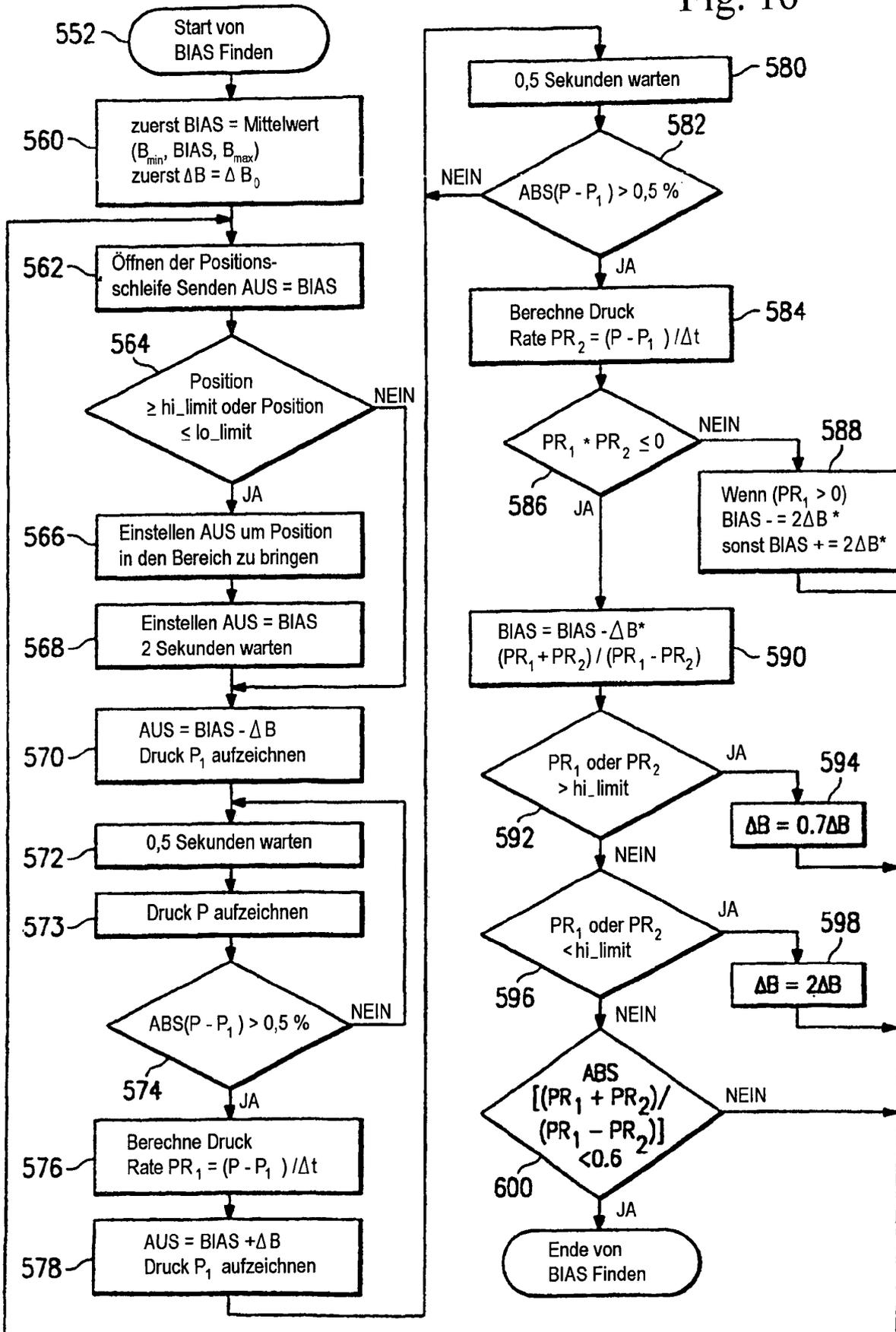


Fig. 15

Fig. 16



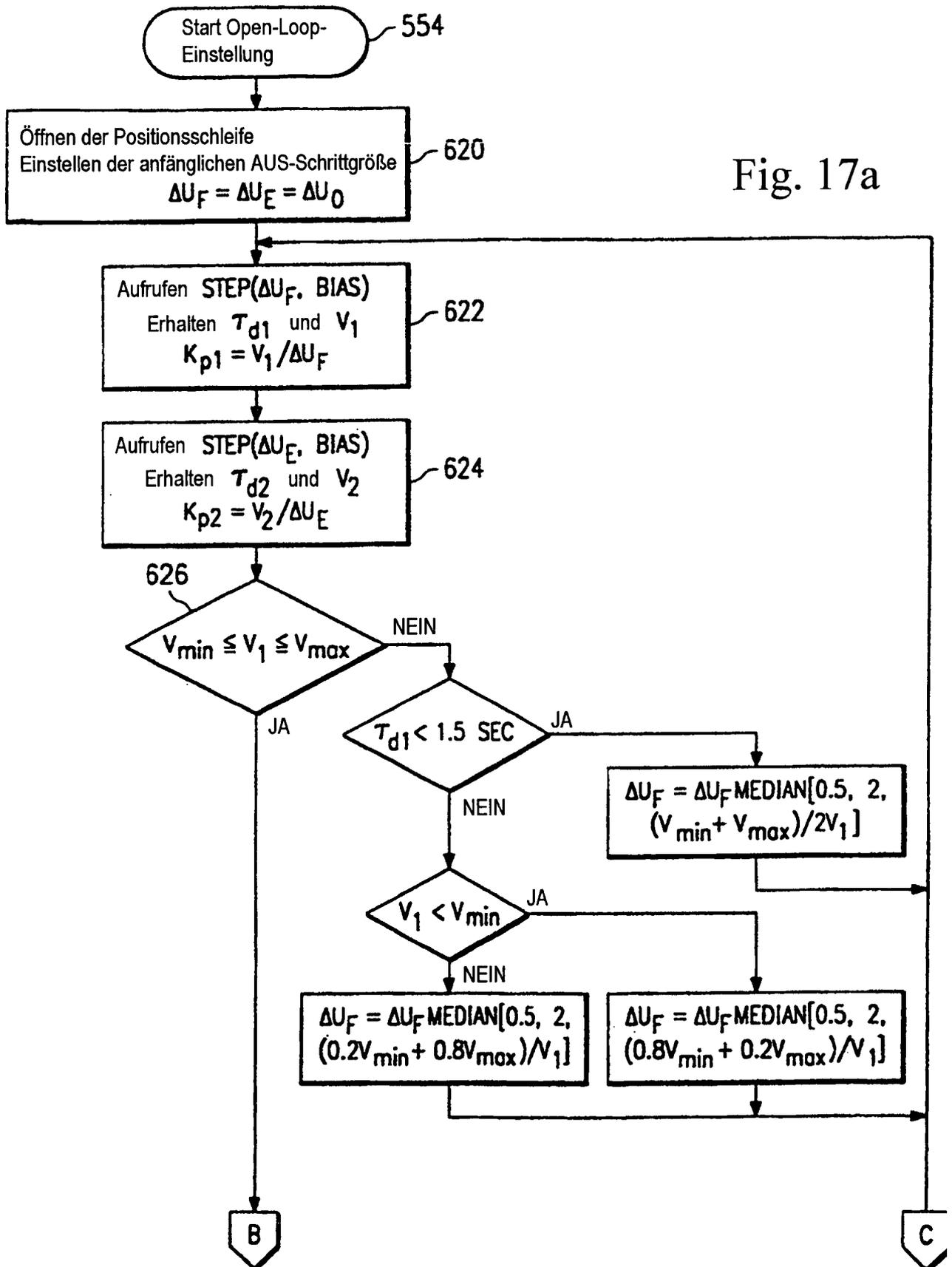


Fig. 17a

zu Figur 17B

von Figur 17B

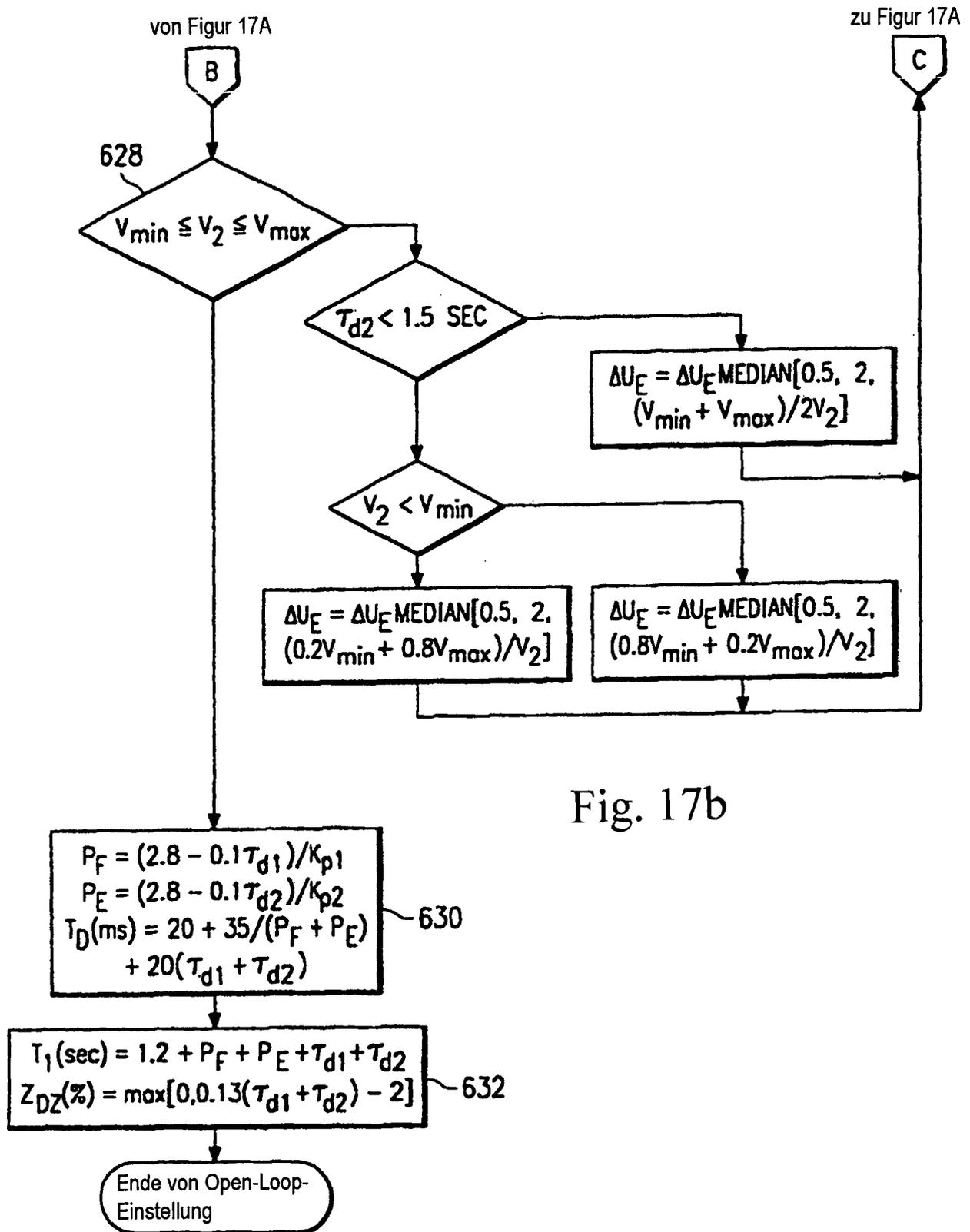


Fig 18

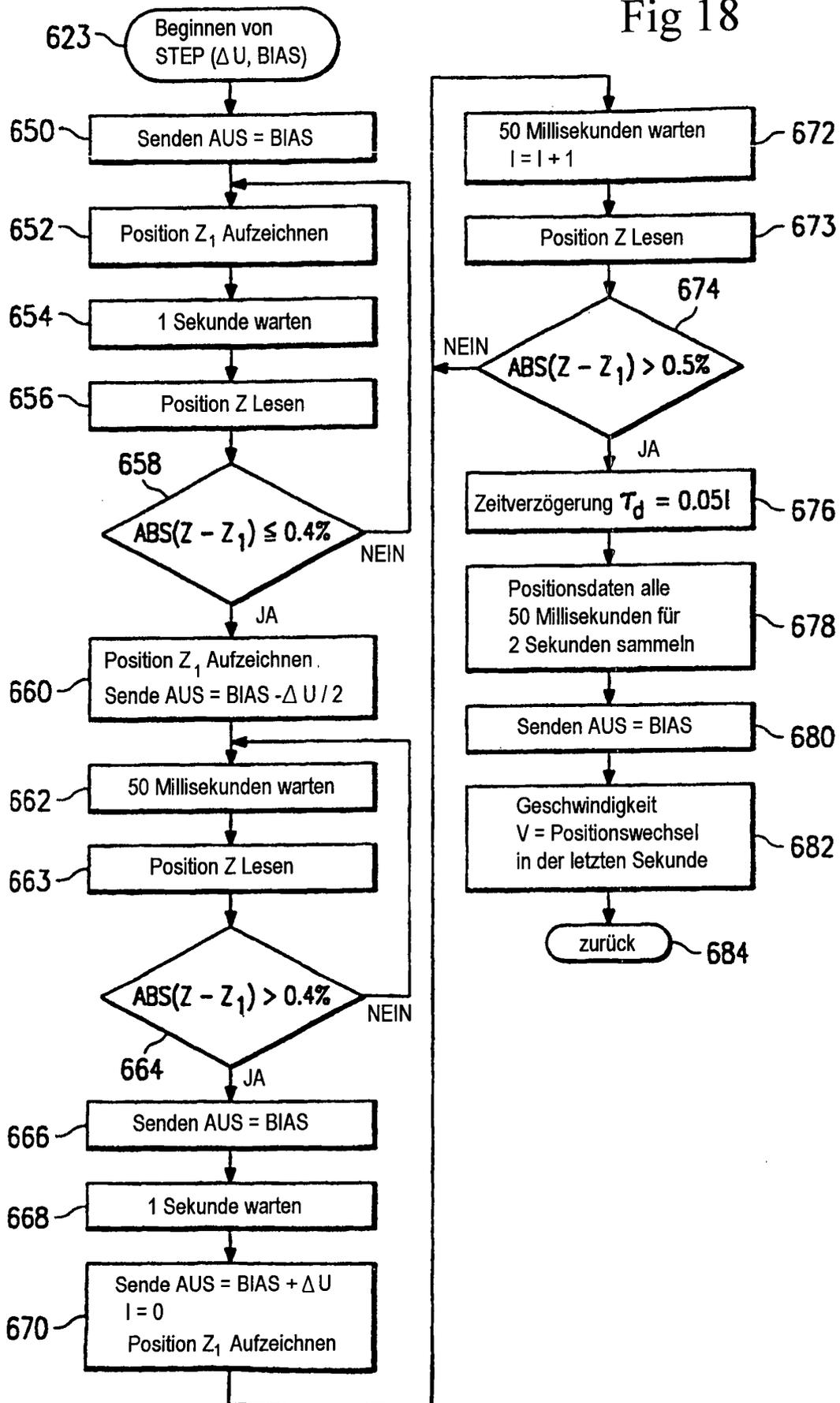


Fig. 19

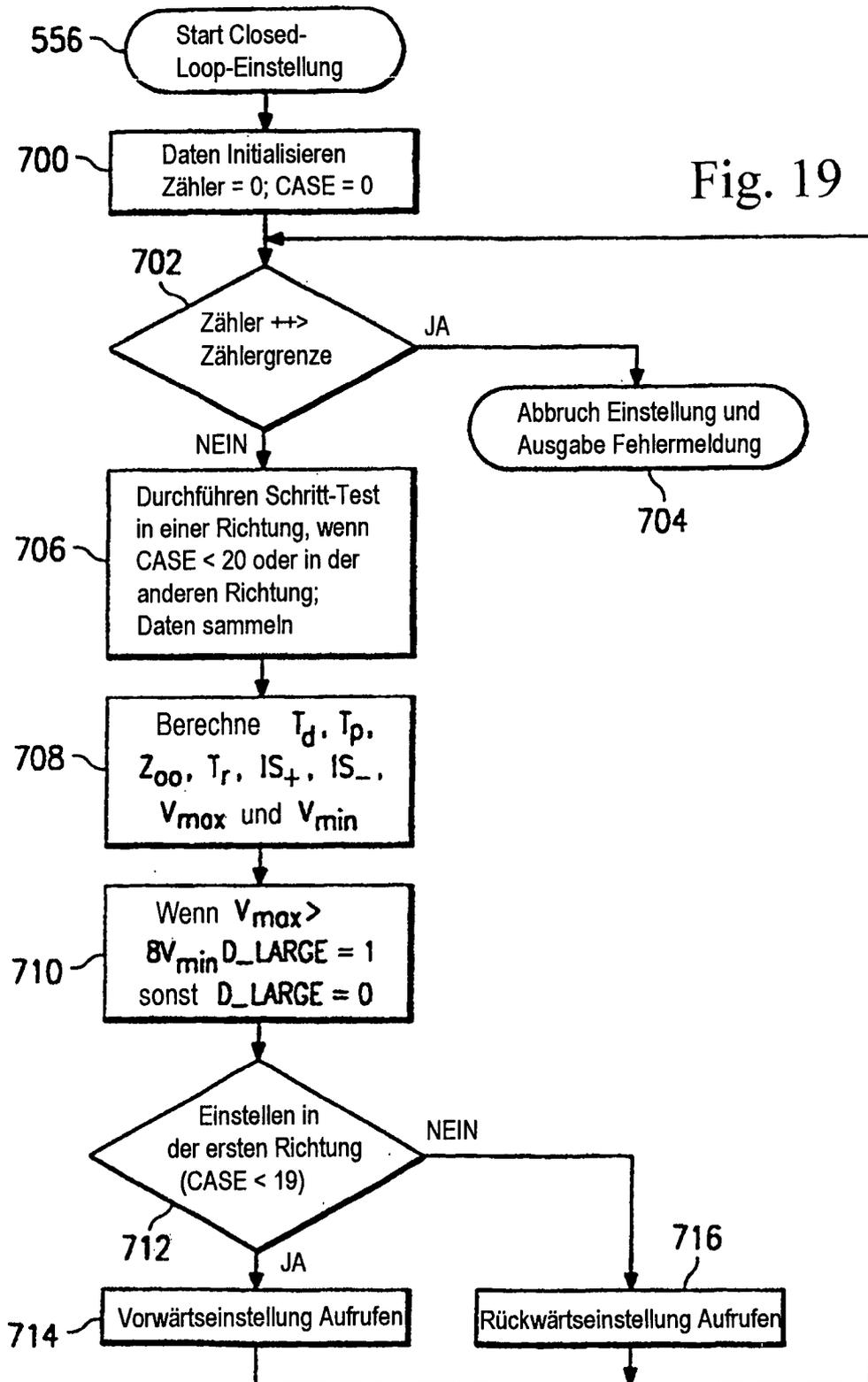
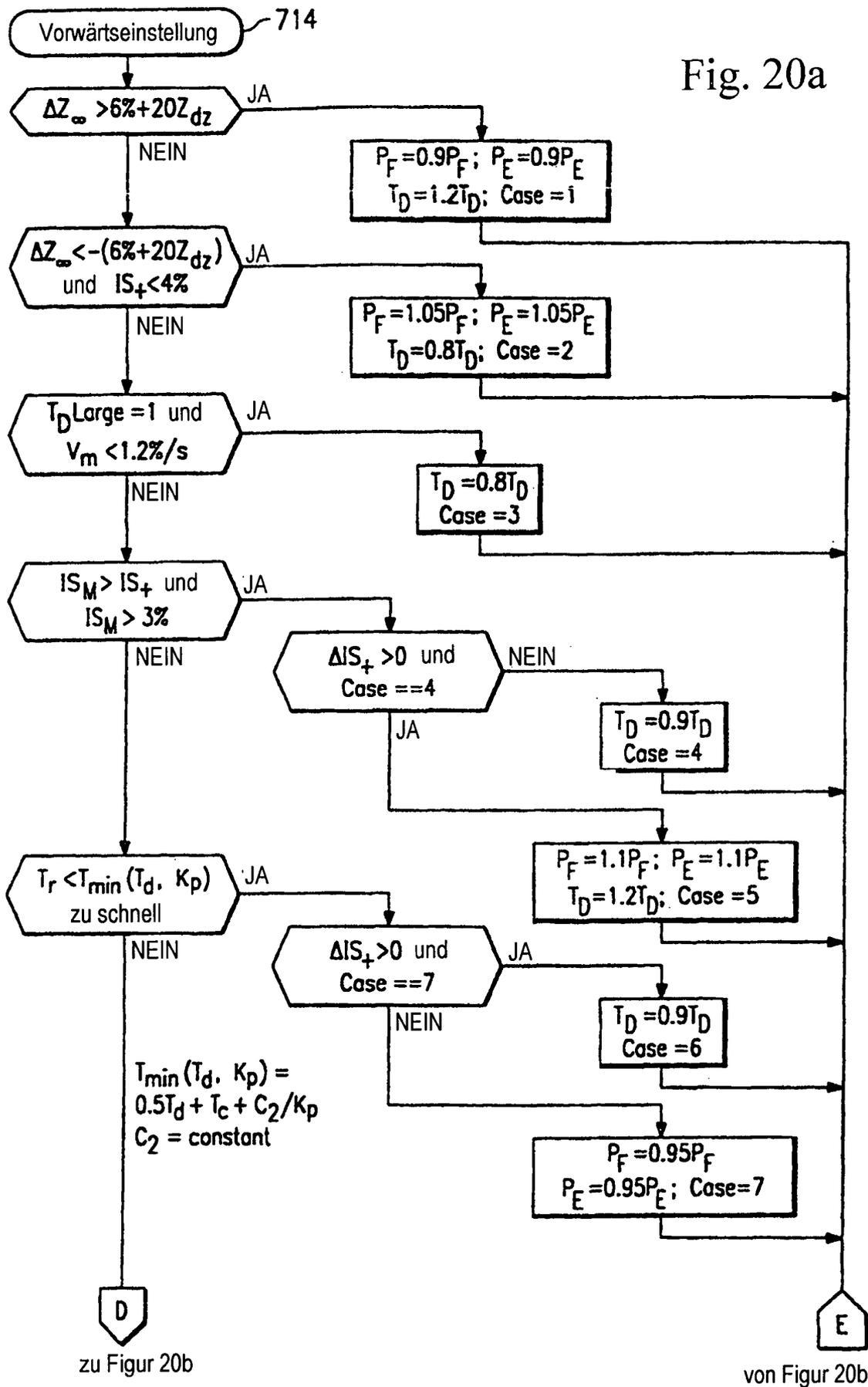
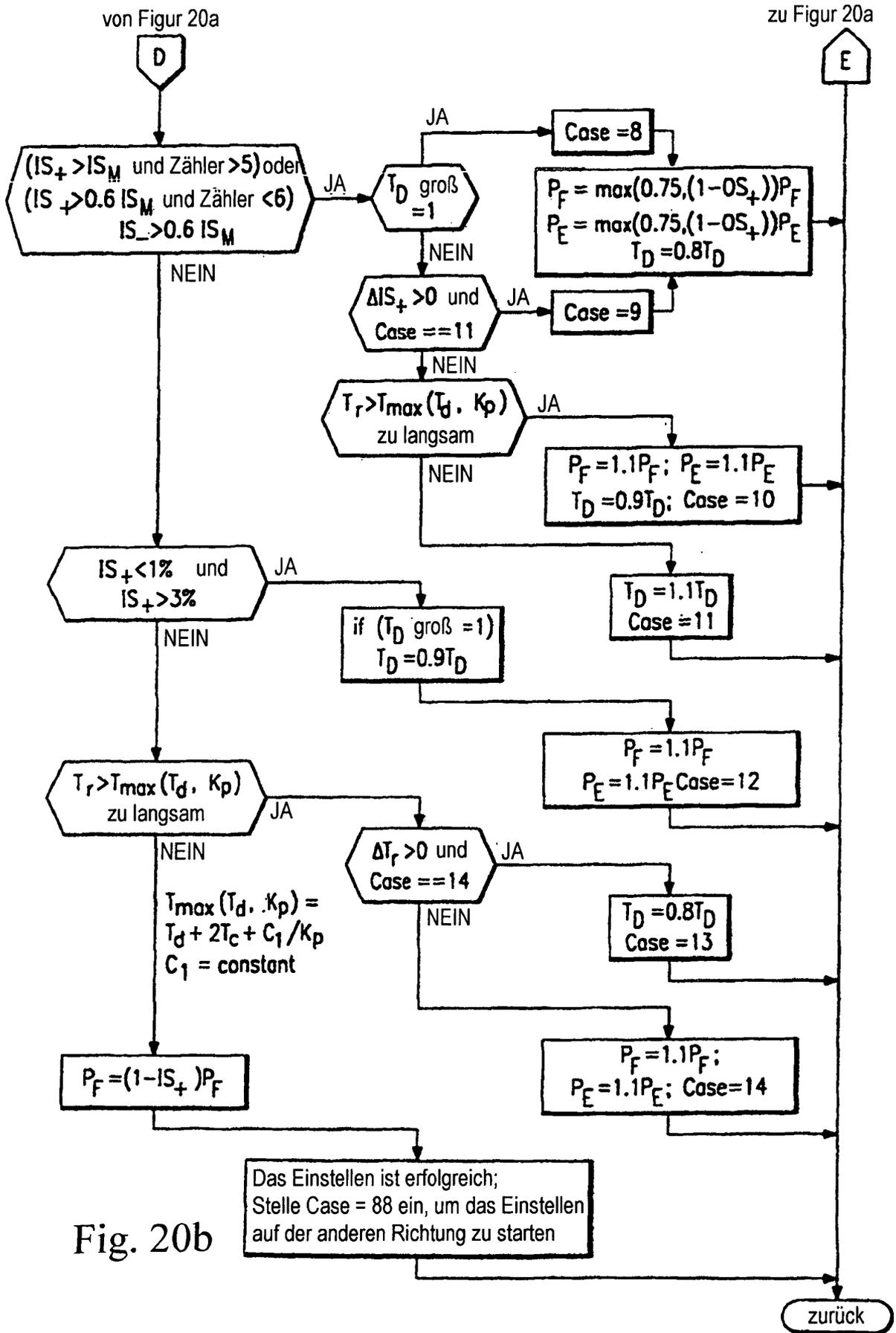


Fig. 20a





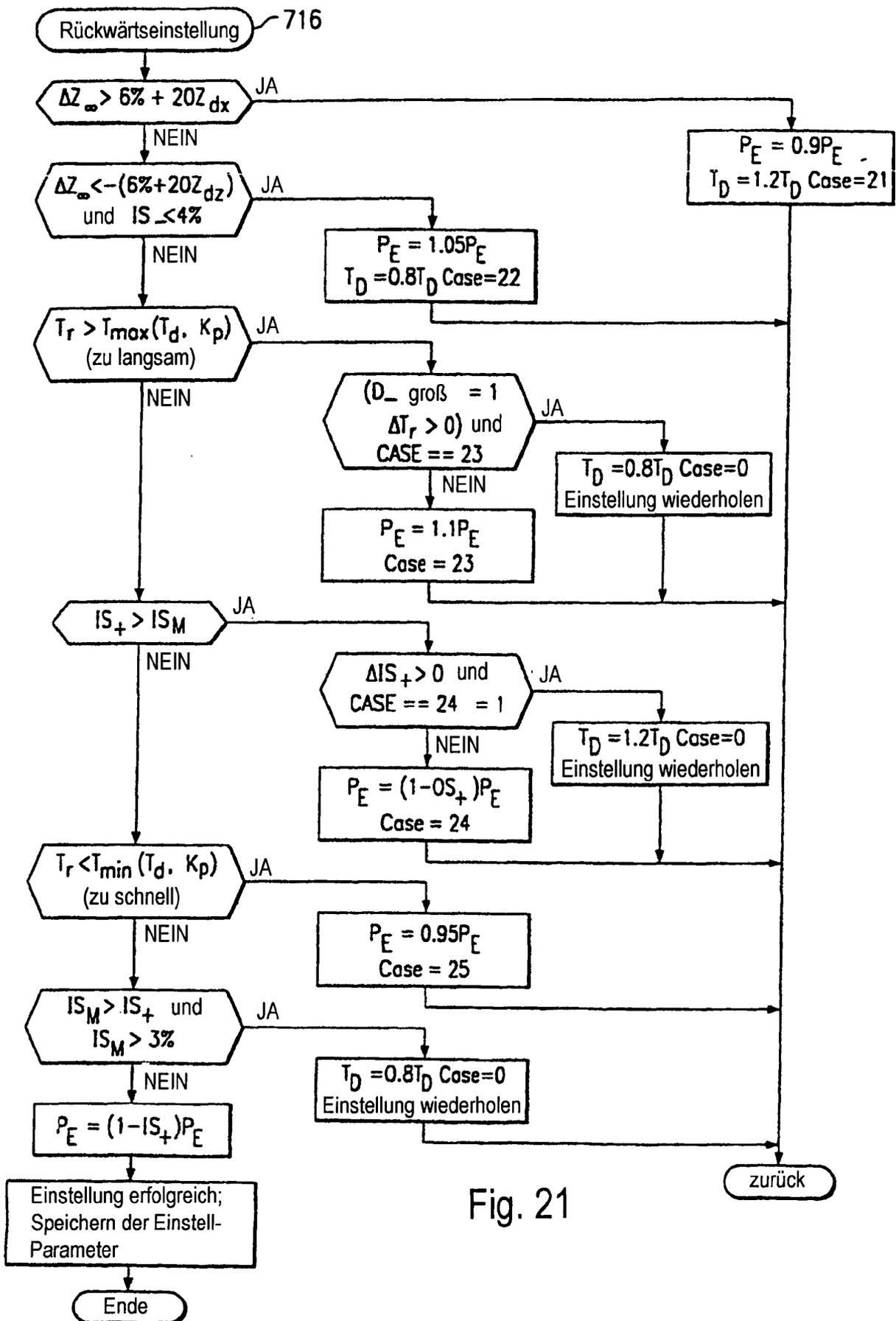


Fig. 21

Fig. 22

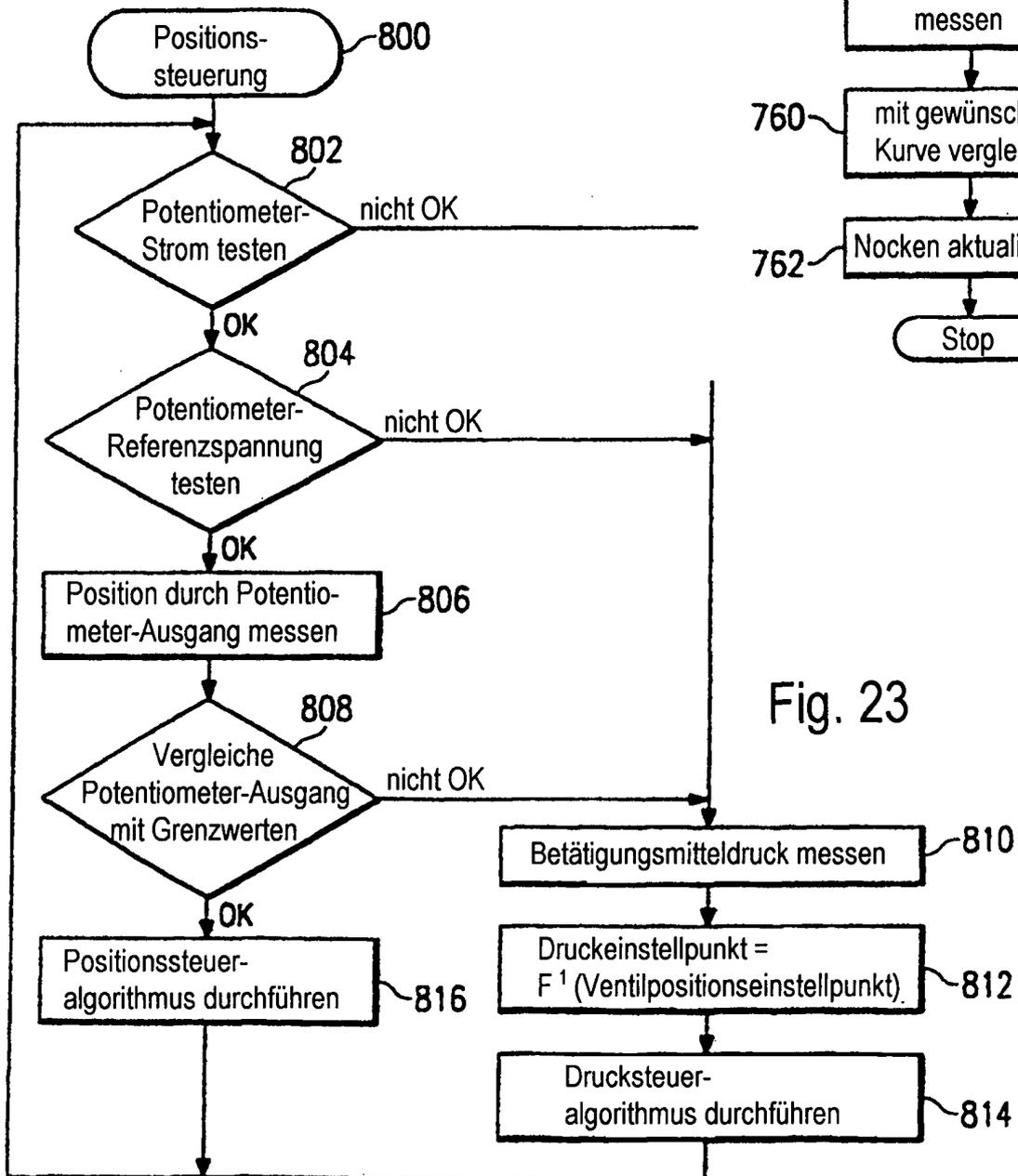
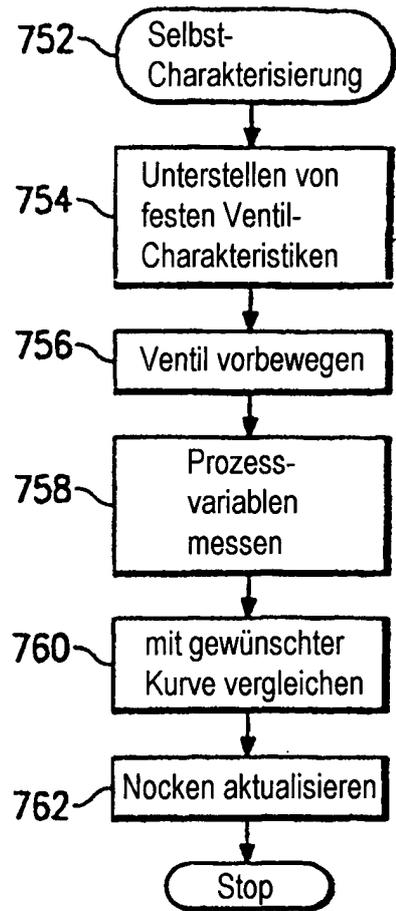


Fig. 23

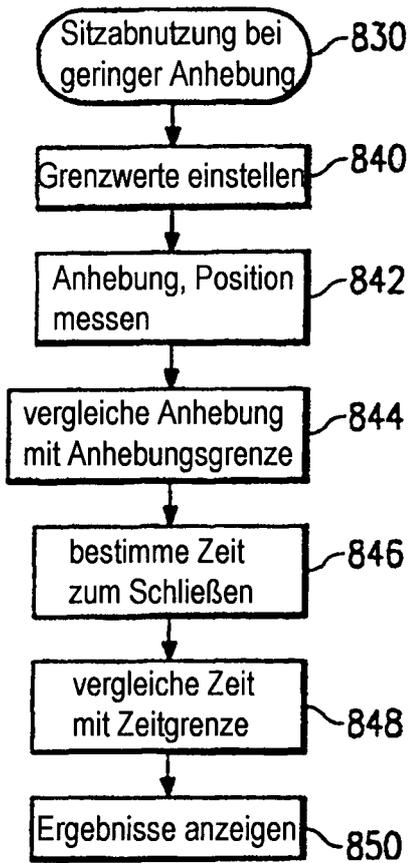


Fig. 24

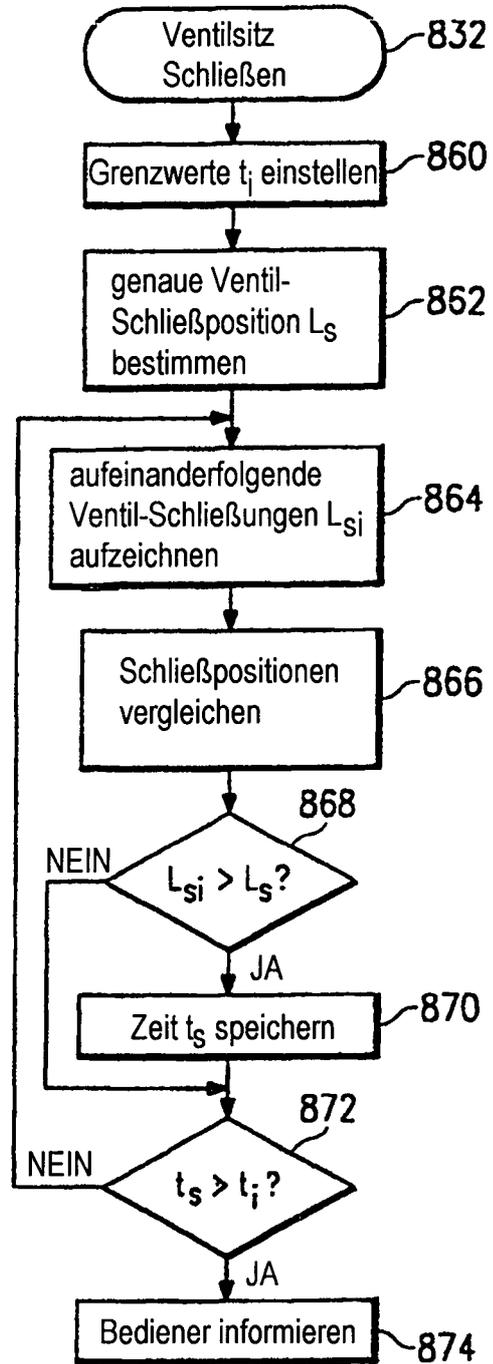


Fig. 25

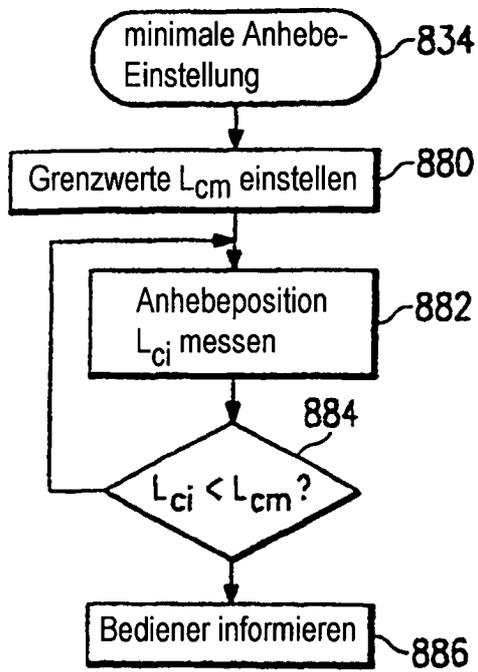


Fig. 26

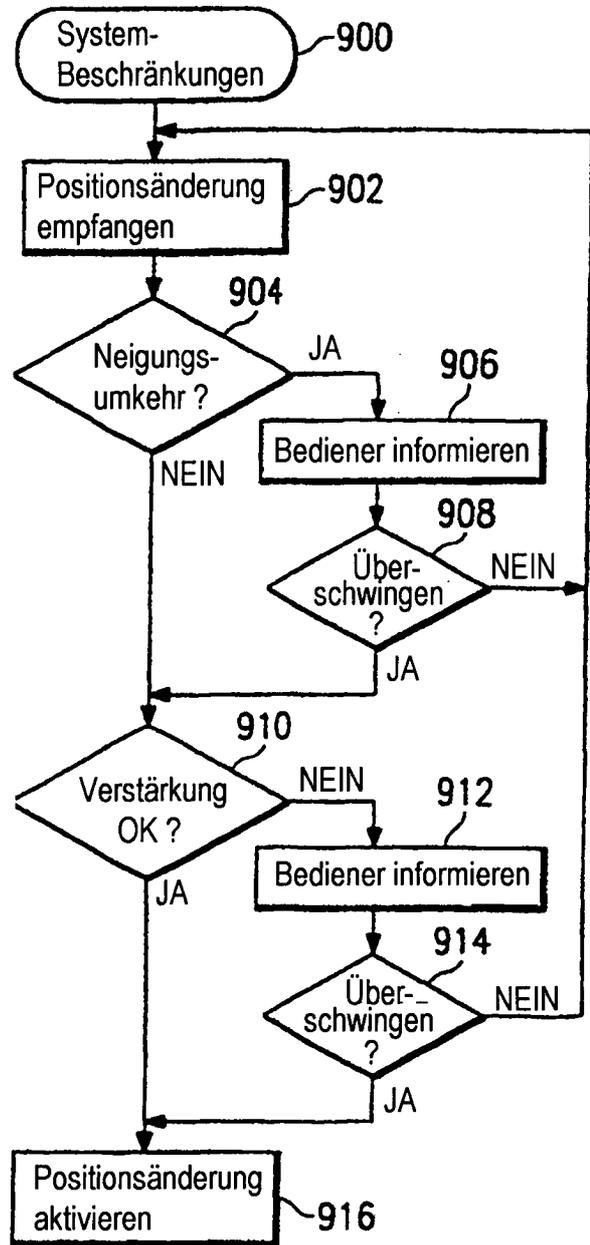


Fig. 29

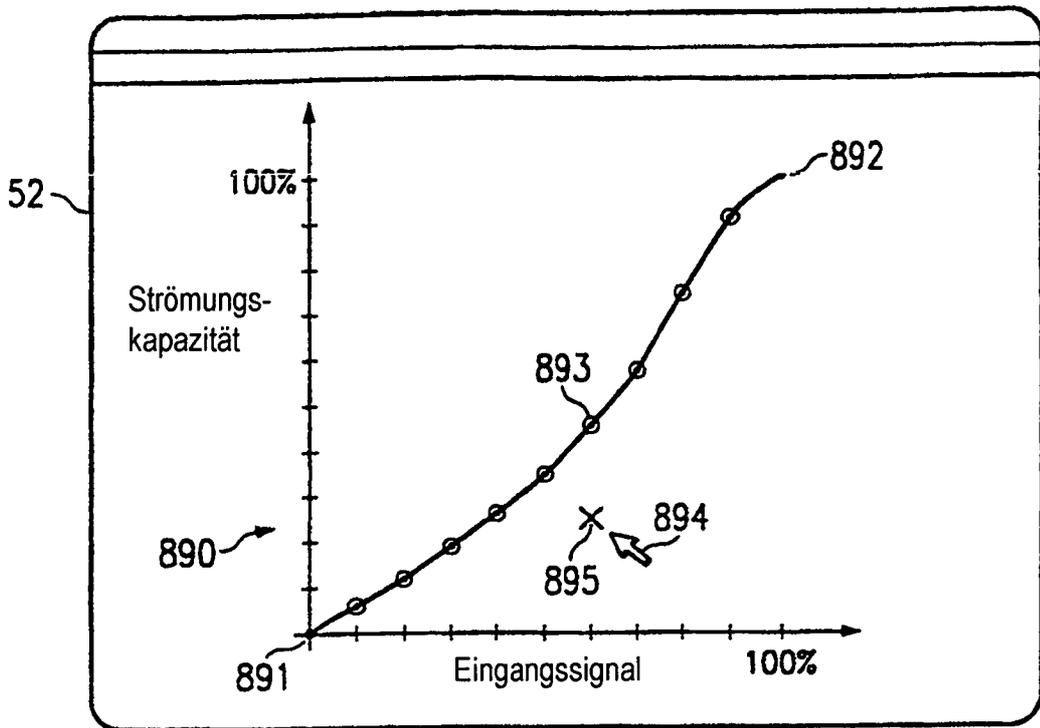


Fig. 27

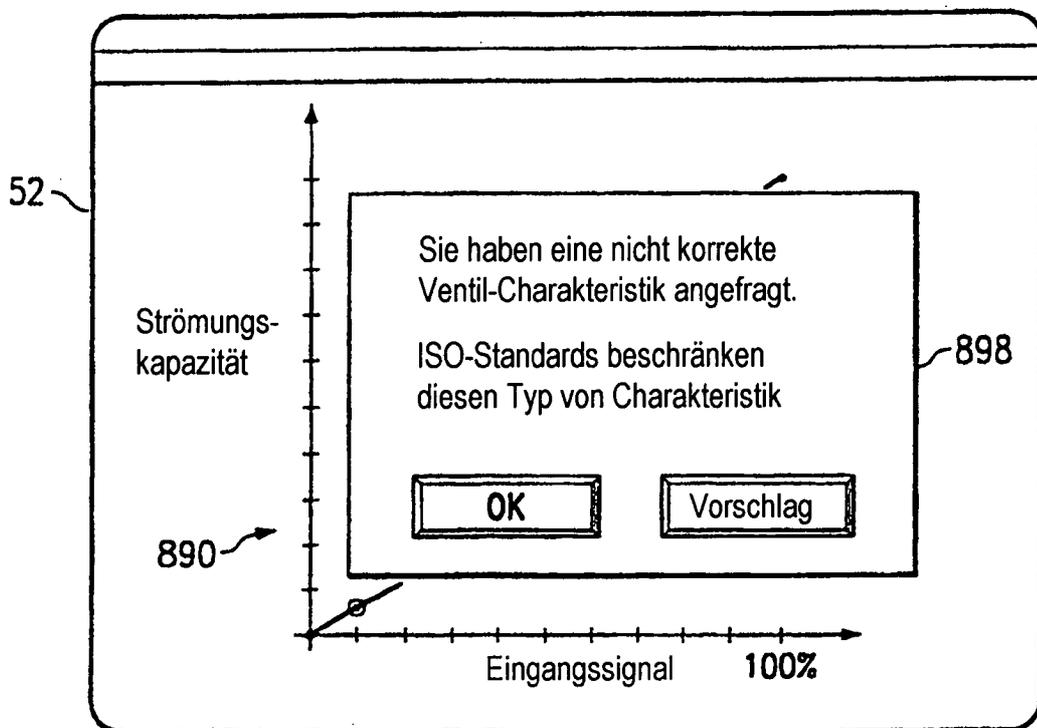


Fig. 28