



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 195 35 354 B4 2004.07.01**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **195 35 354.4**
 (22) Anmeldetag: **22.09.1995**
 (43) Offenlegungstag: **25.07.1996**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **01.07.2004**

(51) Int Cl.7: **G01N 30/28**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(30) Unionspriorität:
08/376,616 23.01.1995 US

(71) Patentinhaber:
**Agilent Technologies, Inc. (n.d.Ges.d.Staates
 Delaware), Palo Alto, Calif., US**

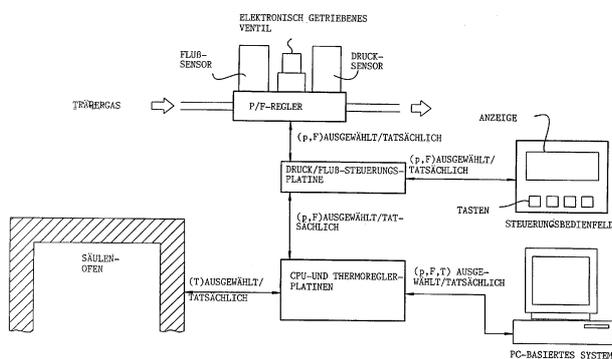
(74) Vertreter:
**Schoppe, F., Dipl.-Ing.Univ., Pat.-Anw., 82049
 Pullach**

(72) Erfinder:
Henderson, Robert C., Avondale, Pa., US

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
**Sixteenth International Symposium on Capillary
 Chromatography, Vol. 1, September 27-30 (1994),
 S. 158-162;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Optimierung der Steuerung eines pneumatischen Systems eines Gaschromatographen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Optimierung der Steuerung dieses pneumatischen, über die Parameter Druck und Fluß charakterisierten, eine geschlossene Regelschleife aufweisenden Systems eines Chromatographen, bei dem die Steuerung durch eine frequenzabhängige Änderung von Eingangssignalen dynamisch variiert wird, um bei einem ausgewählten Druckeinstellungspunkt und einem ausgewählten Flußeinstellungspunkt über Frequenzantworten Steuereffizienten zu ermitteln, die bezüglich der Stabilität des pneumatischen Systems optimiert sind.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Steuern des pneumatischen Systems, das einem Gaschromatographen zugeordnet ist. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Charakterisieren der physikalischen Parameter des pneumatischen Systems und zum Verwenden dieser Informationen in Echtzeit, um die Steuerungsparameter zu modifizieren, wodurch der Bereich des stabilen Betriebs eines pneumatischen Steuerungssystems mit geschlossener Rückkopplungsschleife vergrößert wird.

[0002] In der analytischen Chemie wurden die Techniken der Flüssigchromatographie (LC = Liquid Chromatography) und der Gaschromatographie (GC) wichtige Werkzeuge beim Identifizieren von Bestandteilen chemischer Proben. Das Grundprinzip, das allen chromatographischen Techniken zugrunde liegt, ist die Trennung einer chemischen Probenmischung in einzelne Bestandteile, indem die Mischung in einem Trägerfluid durch ein poröses, retentives Medium transportiert wird. Das Trägerfluid wird als die mobile Phase bezeichnet, während das retentive Medium als die feste Phase bezeichnet wird. Der Hauptunterschied zwischen der Flüssig- und der Gaschromatographie besteht darin, daß die mobile Phase entweder eine Flüssigkeit oder ein Gas ist.

[0003] In einer GC-Vorrichtung wird typischerweise ein inertes Trägergas durch eine temperaturgesteuerte Säule geleitet, welche eine feste Phase in der Form eines porösen, sorptiven Mediums enthält. Die Gaschromatographie-Säulen weisen bekannterweise eine hohle Kapillarröhre auf, welche einen Innendurchmesser in dem Bereich von wenigen hundert Mikrometern aufweist, der mit der festen Phase beschichtet ist. Eine Probe der interessierenden Mischung wird durch einen Einlaß in den Trägergasstrom injiziert und durch die Säule geleitet. Während die interessierende Mischung durch die Säule geleitet wird, trennt sie sich in ihre verschiedenen Bestandteile. Die Trennung geschieht hauptsächlich aufgrund von Unterschieden des Partialdrucks jedes Probenbestandteils in der festen Phase im Gegensatz zu der beweglichen Phase. Diese Unterschiede sind eine Funktion der Temperatur in der Säule. Ein Detektor, der an dem Auslassende der Säule positioniert ist, erfaßt jeden der getrennten Bestandteile, die in dem Trägerfluid enthalten sind, während sie die Säule verlassen.

[0004] Einlaßdruck- und Fluß-Einstellungspunkte für eine chromatographische Analyse, welche elektronisch durch eine pneumatische Steuerung mit geschlossener Regelungsschleife gesteuert wird, bieten eine erhöhte Genauigkeit und Einfachheit bei der Verwendung, da ein großer dynamischer Bereich der Verwendung hinsichtlich von Druck/Fluß-Kombinationen existiert. Dieser große dynamische Bereich der Anwendungen hat eine wesentliche Auswirkung auf die natürliche Antwort des pneumatischen Systems

bezüglich Veränderungen in dem Antrieb des elektronischen Ventils, das von der elektronischen Steuerung verwendet wird, um Einlaß-Drücke oder -Flüsse zu verändern. Die pneumatische Antwort (Druck oder Fluß) auf eine Veränderung im Ventiltrieb kann als eine Übertragungsfunktion betrachtet werden. Diese Antwort ist eine Funktion der Frequenz und wird als "Frequenzantwort" desselben bezeichnet. Zusätzlich zu Druck und Fluß haben andere Variablen in dem Einlaß ebenfalls bedeutsame Auswirkungen auf die Frequenzantwort des Einlaß-Pneumatiksystems, welche hinsichtlich Gewinn und Bandbreite beschrieben wird. Diese Variablen umfassen einen Tankdruck (welcher hauptsächlich den Gewinn beeinflusst), den Gastyp (welcher Gewinn und Bandbreite beeinflusst), den Einlagetyp und die Packung (welche Gewinn und Bandbreite beeinflussen), die Anwesenheit und der Typ der chemischen Fangstelle in der Aufspaltungsleitung (beeinflusst Gewinn und Bandbreite) und der "Flußgewinn" des Proportionalventils (welches hauptsächlich den Gewinn beeinflusst).

[0005] Dieser große dynamische Bereich und viele unabhängige Variablen stellen ein Problem für den Entwickler dar, der für die Druck- und Flußsteuerungen des Einlasses Proportional-Integral-Differential-Kompensationsschleifen (PID-Kompensationsschleifen) entwickelt. Wenn die PID-Koeffizienten hinsichtlich der Stabilität für die schlechtesten Bedingungen optimiert werden, ist das Verhalten für Kunden langsam, welche den Einlaß nicht unter diesen schlechtesten Bedingungen verwenden. Das Abstimmen der PID-Schleifen, um den Einlaß für die "typischen Fälle" zu steuern, kann in einem instabilen Betrieb für Analysen resultieren, die an den Rändern des "Benutzerraums" durchgeführt werden, oder bei denen die Gastypen, die Einlagetypen, die chemischen Fangstellen usw., die von dem Kunden gewählt werden, in den schlechtesten Bedingungen hinsichtlich der Stabilität resultieren. Sowie die Einlaßkonfiguration durch den Benutzer verändert wird, kann die Drucksteuerung des Einlasses anfangen zu schwingen.

[0006] Für jedes pneumatische System gilt, daß, wenn der Fluß erhöht wird, der "Gewinn" des Einlasses ansteigt, und daß, während der Druck des Einlasses erhöht wird, die "Bandbreite" des Einlasses ansteigt. Diese beiden Ausdrücke beeinflussen bedeutsam die Steuereffizienten für die elektronische Steuerungsschleife des pneumatischen Einlaßsystems. Wenn der Gewinn der PID-Steuerung beispielsweise zu groß ist, können die Einlaßflüsse aufgrund eines zu hohen Gesamtgewinns bei hohen Einlaßflüssen (d.h. hohen "Gewinn"-Bedingungen) schwingen. Dementsprechend könnte die Drucksteuerungsschleife aufgrund einer zu großen Phasenverschiebung in dem System schwingen, wenn die PID-Kompensation für den Fall eines hohen Drucks korrekt "abgestimmt" ist, und der Druckeinstellungspunkt in einen niedrigeren Druck (d.h. "Bandbreite"-Bedingungen) verändert wird.

[0007] **Fig. 1** zeigt ein Funktions-Blockdiagramm der pneumatischen Systemlösung, die von Fisons vorgeschlagen wurde. Der Einlaß weist lediglich eine elektronische Steuerungsschleife, entweder Druck oder Fluß, und einen mechanischen Druckregler über eine von zwei Begrenzungsvorrichtungen (R1, R2) zum Steuern des Aufspaltungsentlüftungsflusses auf. Jede Komponente verkleinert nicht nur den für den Benutzer verfügbaren Raum, sondern fügt eine Variable zu der Übertragungsfunktion hinzu, was die Stabilität der einzelnen elektronischen Steuerungsschleife beeinflussen kann.

[0008] Eine andere Technik zum elektronischen Steuern ist in **Fig. 2** gezeigt, in der ein Funktions-Blockdiagramm des Shimadzu **17A** gezeigt ist, welcher ein Gaschromatograph mit einem Aufspaltungs-/Aufspaltungslos-Einlaß ist und von Shimadzu hergestellt wird. Eine Massenflußsteuerung ist an dem Eingang mit dem Einlaß verbunden, wobei ein Gegendruckregler an dem Ausgang des Einlasses angeschlossen ist. Ein Puffer und eine gepackte Röhrenvorrichtung sind in diesem System enthalten. Obwohl die Steuerungsschleifen programmierbar sind, reduziert das Hinzufügen des Puffers und der gepackten Röhrenvorrichtung die Bandbreite und erhöht dadurch die Ansprechzeit des Einlasses auf Einstellungspunktänderungen oder auf eine Störungssperre (wie z.B. den Druck-"Puls", der während der Verdampfung des injizierten Lösungsmittels auftritt).

[0009] P. Magni, u.a. beschreiben in dem Artikel "Automatic Carrier Gas Control with Self Calibrating Capabilities" in Sixteenth International Symposium on Capillary Chromatography, Vol. I, 27–30 September 1994, Seiten 158 bis 162 ein elektronisches System (DPFC = digital pressure/flow control = digitale Druck/Flußsteuerung) für die kapillare Gaschromatographie, das eine präzise und genaue Steuerung von Trägergasdruck und Flußrate ermöglicht und in einem konstanten oder programmierten Modus während eines chromatographischen Durchlauf arbeitet.

Aufgabenstellung

[0010] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, um den stabilen Bereich der Steuerung des pneumatischen Systems, das einem Gaschromatographen zugeordnet ist, zu vergrößern.

[0011] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 und durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 7 gelöst.

[0012] Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, das pneumatische System eines Gaschromatographen als eine Übertragungsfunktion zu charakterisieren, bei der alle Variablen hinsichtlich entweder des Drucks oder des Flusses beschrieben sind.

[0013] Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß diese – Übertragungsfunktion zum Ändern der elektronischen Steuerung des pneumatischen

Systems verwendet wird, um die Stabilität des Systems und die Ansprechzeit auf Einstellungspunktveränderungen in einem breiten Bereich von Benutzer-Druck- und -Fluß-Einstellungspunkten zu verbessern.

[0014] Ein pneumatisches System, das elektronische Ventile und Sensoren enthält, kann als eine "schwarze Kiste" oder als sog. "Black Box" betrachtet werden, bei der die Eingabe eine Spannung, die dem elektronischen Ventil zugeführt wird, und die Ausgabe die Ausgabe des elektronischen Druck- oder Flußsensors ist. Das Verhältnis der Ausgabe zu der Eingabe dieser "Black Box" wird allgemein als die Übertragungsfunktion derselben bezeichnet. Übertragungsfunktionen der meisten physikalischen Systeme sind frequenzabhängig (d.h. das Verhältnis der Ausgabe zu der Eingabe verändert sich als Funktion der Eingabefrequenz). Die Frequenzantwort des pneumatischen Systems, das verwendet wird, um einen Gaschromatographen zu steuern, kann bestimmt werden, indem ein direktes Meßverfahren mit einer geschlossenen Regelungsschleife verwendet wird. Die Frequenzantwort kann verwendet werden, um die Systemstabilität eines linearen, zeitinvarianten Systems zu bestimmen, wenn ein Eingangssignal angelegt wird. Eine Sinuswelle mit gewobelter Frequenz wird an den Eingang einer Steuerung mit geschlossener Regelungsschleife angelegt. Sowohl die Spannung, die dem elektronischen Ventil (d.h. dem Eingang der pneumatischen "Black Box") zugeführt wird, als auch die Ausgabe des Druck- oder Flußsensors (d.h. des Ausgangs der pneumatischen "Black Box") werden gemessen. Indem das Ausgabesignal durch das Eingabesignal geteilt wird, kann die Frequenzantwort, die als eine Übertragungsfunktion beschrieben ist, berechnet werden. Sowohl die Betrags- als auch die Phasen-Informationen können für die Frequenzantwort erzeugt werden.

[0015] Die Frequenzantwort wird für einen Bereich von Benutzerwählbaren Druck- und Fluß-Einstellungen und eine Serie von Hardware-Betriebsparametern bestimmt. Die Betrags- und Phasen-Diagramme werden für jede Kombination bestimmt. Diese Diagramme beschreiben, wenn sie kombiniert werden, die Gesamtfrequenzantwort der pneumatischen "Black Box". Die Gesamtfrequenzantwort kann in einer Tabelle von Frequenz-Kardinalpunkten als Funktion der Hardware-Betriebsparameter, des Flusses und des Drucks verwendet werden. Da der Gewinn und die Phase der Frequenzantwort von den Fluß- und Druckeinstellungspunkten abhängt, wurden diese Parameter als Eingabe für die Übertragungsfunktion gewählt. Eine Kompensationstabelle, in der jede Variable als Funktion des Flusses und Drucks beschrieben ist, wird verwendet, um die Steuerung des Systems zu verändern, um den Betriebsbereich zu erhöhen.

[0016] Die PID-Steuerung wählt einen Gewinnkorrektur-Multiplikator aus der Kompensationstabelle aus, um denselben auf die Gesamtausgabe der Steu-

erungsausdrücke anzuwenden. Bei einem Ausführungsbeispiel ist die Frequenzantwort hinsichtlich des Flusses beschrieben, da der Gewinn des Systems am meisten von dieser Variable abhängt. Die resultierenden Steuerungsfehlerberechnungen werden dann mit dem Gewinnkorrektur-Multiplikator multipliziert, welcher verwendet wird, um die Auswirkung des Flußeinstellungspunktes auf das pneumatische System anzupassen. Wenn der Fluß beispielsweise auf einen niedrigen Wert eingestellt wird (wo der Gewinn des pneumatischen Systems sehr niedrig ist), wird die PID-Steuerung einen großen Multiplikatorterm erzeugen, derart, daß die Steuerungsausgabe für die Systeme mit niedrigerem Gewinn größer ist (dies hält den Gesamtgewinn der Steuerungsschleife stabil).

[0017] Sowohl die Druck- als auch die Flußsteuerung für das pneumatische System verwenden während jeder PID-Berechnung das obige Verfahren zur Charakterisierung. Zusätzlich korrigiert die Drucksteuerung ebenfalls die PID-Koeffizienten, um Veränderungen in der Bandbreite zu berücksichtigen, während der Druckeinstellungspunkt variiert wird. Das dynamische Einstellen der PID-Koeffizienten als Funktion der Druck- und Flußeinstellungspunkte liefert optimale PID-Koeffizienten über einem breiten Bereich von Benutzereinstellungspunkten. D.h., daß der Benutzer gemäß seiner Übertragungsfunktion das pneumatische System optimaler steuern kann, indem er die gewünschten Druck- und Flußwerte spezifiziert.

Ausführungsbeispiel

[0018] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0019] **Fig. 1** ein Funktions-Blockdiagramm eines pneumatischen Systems gemäß dem Stand der Technik.

[0020] **Fig. 2** ein Funktions-Blockdiagramm eines Teils eines Gaschromatographen gemäß dem Stand der Technik.

[0021] **Fig. 3A** Funktions-Blockdiagramme für ein pneumatisches System und **3B** stem, das verwendet wird, um den Einlaß eines Gaschromatographen zu lenken.

[0022] **Fig. 3A** den Aufspaltungs-Betriebsmodus des pneumatischen Systems.

[0023] **Fig. 3B** den Aufspaltungslos-Injektionsbetrieb des pneumatischen Systems.

[0024] **Fig. 4** das direkte Verfahren mit geschlossener Regelungsschleife, wie es für die pneumatischen Systeme, die in den **Fig. 3A** und **3B** gezeigt sind, verwendet wird.

[0025] **Fig. 5** ein Blockdiagramm eines pneumatischen Aufspaltungs-/Aufspaltungslos-Systems eines Gaschromatographen, welcher die Charakteristika des pneumatischen Systems verwendet, um eine

stabilere pneumatische Steuerung in einem ausge dehnten Bereich von Benutzereinstellungspunkten zu schaffen.

[0026] **Fig. 6** ein Ausführungsbeispiel eines Blockdiagramms für die Steuerung **26**, die in **Fig. 5** gezeigt ist.

[0027] **Fig. 7** ein Verfahrens-Flußdiagramm, das durch die Steuerung, die in **Fig. 5** gezeigt ist, implementiert ist.

[0028] Die **Fig. 3A** und **3B** zeigen ein Funktions-Blockdiagramm für ein pneumatisches System, das verwendet wird, um einen Gaschromatographen zu lenken. **Fig. 3A** zeigt den Aufspaltungs-Betriebsmodus des pneumatischen Systems **10**, wobei ein erstes Proportionalventil **12** als eine Massenflußsteuerung für den gesamten Einlaßfluß, der durch einen Flußsensor **14** gemessen wird, wirkt. Ein zweites Proportionalventil **16** verhält sich als ein Gegendruckregler, indem es den Einlaßdruck steuert, der durch einen Drucksensor **18** gemessen wird. Ein "Black Box"-Regler **20** steuert den Septum-Reinigungsfluß. Dies ist die Aufspaltungs-Konfiguration, die mit dem Aufspaltungs-/Aufspaltungslos-Einlaß verwendet wird.

[0029] **Fig. 3B** zeigt den Aufspaltungslos-Injektionsbetrieb des pneumatischen Systems **10**, wobei das erste Proportionalventil **12** den Druck steuert, der durch den Drucksensor **18** gemessen wird. Ein Ventil **22** ist ein An/Aus-Ventil, welches ausgeschaltet ist, derart, daß kein Fluß aus der Aufspaltungsentlüftung auftritt. Das zweite Proportionalventil **16** wird bei einem nominalen Wert eingeschaltet, derart, daß kein Gegendruck auf das Ventil **22** existiert. Der Flußsensor **14** mißt den Gesamtfluß, er steuert jedoch nicht das erste Proportionalventil **12**. In dieser Konfiguration ist der Gesamtfluß in den Einlaß hinein der Säulen-Fluß und der Septum-Reinigungsfluß.

[0030] **Fig. 4** ist ein Blockdiagramm, das verwendet wird, um die Frequenzantwort des pneumatischen Systems **10**, das in den **Fig. 3A** und **3B** gezeigt ist, zu charakterisieren. Das pneumatische System **10** wird bei verschiedenen Punkten getestet, indem das direkte Verfahren mit geschlossener Regelungsschleife mit einem dynamischen Signalanalysator verwendet wird, um eine Frequenzantwort des Systems bei offener Regelungsschleife abzuleiten. Das direkte Verfahren mit geschlossener Regelungsschleife wird verwendet, um eine Frequenzantwort eines zeitinvarianten, linearen Systems zu beschreiben, und um die Systemstabilität für ein beliebiges Eingangssignal vorherzusagen.

[0031] Ein dynamischer Signalanalysator legt eine Sinuswelle mit gewobelter Frequenz an den Eingang einer Steuerung mit geschlossener Regelungsschleife. Ein Steuerungssystemanalysator überwacht sowohl die Spannung, die an das elektronische Ventil (der Eingang des pneumatischen Systems) angelegt wird, als auch die Ausgabe des Druck- oder Flußsensors (der Ausgang des pneumatischen Systems). Indem das Ausgangssignal durch das Eingangssignal

geteilt wird, kann die Frequenzantwort, die als eine Übertragungsfunktion beschrieben ist, für das pneumatische System berechnet werden. Sowohl die Betrags- als auch Phaseninformationen werden für die Frequenzantwort erzeugt.

[0032] Die Frequenzantwort wird für den Bereich von Benutzerwählbaren Druck- und Flußeinstellungen und eine Serie von Hardware-Betriebsparametern bewertet, wie z.B. mit oder ohne chemische Fangstelle, drei Arten von Einlaßeinlagen, eine saubere gegenüber einer verschmutzten chemischen Fangstelle, die Säulenlänge, der Säulendurchmesser und der Gastyp. Die Betrags- und Phasendiagramme werden für jede Kombination bestimmt. Die Diagramme beschreiben die Gesamtfrequenzantwort des pneumatischen Systems, wenn sie kombiniert werden.

[0033] Die Gesamtfrequenzantwort kann in einer Tabelle von Frequenz-Kardinalpunkten als Funktion des Gastyps, des Einlagentyps, der Säulenlänge und des Säulendurchmessers, des Flusses und des Drucks verwendet werden. Da der Gewinn und die Amplitude der Frequenzantwort von den Fluß- und Druckeinstellungen abhängt, werden diese Parameter als wählbare Eingaben für die nichtlineare Charakterisierung verwendet. Eine Kompensationstabelle, in der jede Variable als Funktion von Fluß oder Druck beschrieben wird, wird verwendet, um das System zu steuern.

[0034] Die PID-Steuerung verwendet die Kompensationstabelle, um auf einen Gewinnkorrektur-Multiplikator zuzugreifen, der auf die Gesamtausgabe der Steuerungsausdrücke angewendet wird. Bei einem Ausführungsbeispiel wird der Eingabezeiger in diese Tabelle als ein Flußwert beschrieben, da der Gewinn des Systems am meisten von dieser Variable abhängt. Die resultierenden Steuerungsfehlerberechnungen werden dann mit dem Gewinn-Korrekturmultiplikator multipliziert, welcher verwendet wird, um den Gewinn der Steuerung einzustellen, um den Schleifengewinn des pneumatischen Systems von dem Fluß-Einstellungspunkt des Gaschromatographen unabhängig zu machen. Wenn der Fluß beispielsweise auf einen niederen Wert eingestellt wird (wo der Gewinn des pneumatischen Systems sehr niedrig ist), wird das Zugreifen auf die Tabelle einen großen Multiplikatorausdruck erzeugen, derart, daß die Steuerungsausgabe für die Systeme mit kleinerem Gewinn größer ist (dies hält den Gesamtgewinn der Steuerungsschleife stabil).

[0035] Für jede Steuerungsschleife (z.B. Druck oder Fluß) werden vier Werte für die PID-Steuerungsschleifen spezifiziert. Die ersten drei Ausdrücke sind der Proportional-, der Integral- und der Differentialkoeffizient, während der letzte ein nichtlinearer Koeffizient ist. Dieser letzte Ausdruck wird verwendet, um entweder auf eine Gewinntabelle zuzugreifen oder derselbe geht direkt in eine Berechnung ein, um eine PID-Änderung zu bestimmen.

[0036] Die Drucksteuerungs-PID-Ausdrücke wer-

den sowohl für Gewinn als auch für Bandbreite-Auswirkungen verändert, während die Flußsteuerungs-PID-Ausdrücke nur für Gewinnauswirkungen verändert werden. Ein nichtlinearer Gewinnkompensationsausdruck wird verwendet, um auf die Gewinntabelle zuzugreifen. Dieser Ausdruck verringert den Gewinn der P-, I- und D-Ausdrücke für sowohl die Druck- als auch die Fluß-PID-Steuerung, während der Gesamteinlaßfluß ansteigt. Ein linearer Bandbreite-Kompensationsausdruck wird verwendet, um entweder den I-Ausdruck zu erhöhen, während der D-Ausdruck verringert wird, oder um den I-Ausdruck zu verringern, während der D-Ausdruck erhöht wird. Somit wird die Richtung, in der die "Nullen" der Übertragungsfunktion von der PID-Steuerung verschoben werden, durch den Einlaßdruck-Einstellungspunkt bestimmt. Der P-Term bleibt unberührt.

[0037] Zusammengefaßt verwenden sowohl die Druck- als auch die Flußsteuerung für das pneumatische System das obige Verfahren zur "Gewinn"-Kompensation während jeder PID-Berechnung. Zusätzlich korrigiert die Drucksteuerung ferner die PID-Steuerungsausdrücke, um die Bandbreiteveränderung zu berücksichtigen, während der Druck-Einstellungspunkt verändert wird. Alternativ kann zur Kompensation eine Übertragungsfunktion statt des Zugreifens auf eine Tabelle verwendet werden.

[0038] **Fig. 5** zeigt ein Blockdiagramm eines pneumatischen Aufspaltungs-/Aufspaltungslos-Systems für einen Gaschromatographen, den HP 6890, der von der Hewlett-Packard Company hergestellt wird, welcher die Frequenzantwort-Charakteristika des pneumatischen Systems **10** verwendet, um eine stabilere pneumatische Steuerung über einen ausgedehnten Bereich von Benutzereinstellungspunkten zu schaffen. Das erste Proportionalventil **12**, das als eine Druckquelle wirkt, ist mit einem Flußsensor **14** verbunden. Das pneumatische System **10** ist zwischen den Flußsensor **14** und das zweite Proportionalventil **16** geschaltet, welches als der Gegendruckregler dient. Das pneumatische System **10** ist ferner mit dem Drucksensor **18** verbunden. Ein Analog-Digital-Wandler (ADW) **24** im Multiplexbetrieb ist sowohl mit dem Fluß- als auch dem Drucksensor **14** bzw. **16** verbunden. Eine Steuerung **26** ist zwischen den ADW **24** und Ventiltreiber **28** geschaltet. Die Ventiltreiber **28** sind mit dem ersten und zweiten Proportionalventil **12** bzw. **16** verbunden.

[0039] Der ADW **24** empfängt analoge Signale von dem Flußsensor **14** und von dem Drucksensor **18**. Der ADW **24** wandelt die analoge Signale in digitale Signale um, welche von der Steuerung **26** empfangen werden. Die Steuerung **26** moduliert die physikalischen Parameter des pneumatischen Systems durch Ventilsignale. Die Ventilsignale werden von den Ventiltreibern **26** empfangen, welche das erste und zweite Proportionalventil **12** bzw. **16** steuern.

[0040] **Fig. 6** zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Blockdiagramms für die Steuerungseinrichtung **26**,

die in **Fig. 5** gezeigt ist. Eine Drucksteuerung **24** ist mit einer Einrichtung zum Einstellen des Fluß-Gewinn-Faktors **30** und mit einer Einrichtung zum Einstellen des Druck-Bandbreite-Faktors **32** verbunden. Eine Flußsteuerung **36** ist mit der Einrichtung zum Einstellen des Fluß-Gewinn-Faktors **30** und mit der Einrichtung zum Einstellen des Druck-Bandbreite-Faktors **32** verbunden.

[0041] Die Drucksteuerung **34**, welche ein erstes Ventiltreibersignal zum Steuern des ersten Proportionalventils erzeugt, weist einen zugeordneten Fluß-Gewinn-Einstellungsfaktor und einen Druck-Bandbreite-Einstellungsfaktor auf. Die Flußsteuerung **36**, welche ein zweites Ventiltreibersignal zum Steuern des zweiten Proportionalventils erzeugt, weist einen Fluß-Gewinn-Einstellungsfaktor und einen Druck-Bandbreite-Einstellungsfaktor auf. Die Drucksteuerung **34** stellt die Drucksteuerungs-Kompensationsausdrücke gemäß dem Fluß-Gewinn-Einstellungsfaktor und dem Druck-Bandbreite-Einstellungsfaktor ein. Die Flußsteuerung **36** stellt die Flußsteuerungs-Kompensationsausdrücke gemäß dem Fluß-Gewinn-Einstellungsfaktor und dem Druck-Bandbreite-Einstellungsfaktor ein.

[0042] Die Einrichtung zum Einstellen des Fluß-Gewinn-Faktors **30** kann eine Gewinn-Direktzugriffstabelle, in der der Gewinn bei verschiedenen Druckeinstellungspunkten beschrieben ist, oder eine Funktion sein, in der der Gewinn bezüglich des Flusses beschrieben ist. Die Einrichtung zum Einstellen des Druck-Bandbreite-Faktors **32** kann eine Bandbreite-Direktzugriffstabelle, in der die Bandbreite bei verschiedenen Fluß-Einstellungspunkten beschrieben ist, oder eine Funktion sein, in der die Bandbreite hinsichtlich des Drucks beschrieben ist.

[0043] **Fig. 7** stellt ein Verfahrens-Flußdiagramm dar, das durch die Steuerung, die in **Fig. 5** gezeigt ist, implementiert ist. In einem Schritt 100 empfangen sowohl die Drucksteuerung **34** als auch die Flußsteuerung **36** den Fluß-Gewinn-Einstellungsfaktor gemäß dem ausgewählten Fluß-Einstellungspunkt. In einem Schritt 110A stellt die Drucksteuerung **34** die Drucksteuerungs-Kompensationsausdrücke gemäß dem Fluß-Gewinn-Einstellungsfaktor ein. In einem Schritt 110B stellt die Flußsteuerung **36** die Flußsteuerungs-Kompensationsausdrücke gemäß dem Fluß-Gewinn-Einstellungsfaktor ein. In einem Schritt 120 empfangen sowohl die Drucksteuerung **34** als auch die Flußsteuerung **36** den Druck-Bandbreite-Einstellungsfaktor gemäß dem ausgewählten Druck-Einstellungspunkt. In einem Schritt 130A stellt die Drucksteuerung ferner die Drucksteuerungs-Kompensationsausdrücke gemäß dem Druck-Bandbreite-Einstellungsfaktor ein. In einem Schritt 130B stellt die Flußsteuerung ferner die Flußsteuerungs-Kompensationsausdrücke gemäß dem Druck-Bandbreite-Einstellungsfaktor ein. In einem Schritt 140A erzeugt die Drucksteuerung das erste Ventiltreibersignal aus den abschließenden Druck-

steuerungs-Kompensationsausdrücken, dem tatsächlichen Druck und dem gewünschten Druck. In einem Schritt 140B erzeugt die Flußsteuerung das zweite Ventiltreibersignal aus den Flußsteuerungs-Kompensationsausdrücken, dem tatsächlichen Fluß und dem gewünschten Fluß.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Optimierung der Steuerung dieses pneumatischen, über die Parameter Druck und Fluß charakterisierten, eine geschlossene Regelschleife aufweisenden Systems eines Chromatographen, bei dem die Steuerung durch eine frequenzabhängige Änderung von Eingangssignalen dynamisch variiert wird, um bei einem ausgewählten Druckeinstellungspunkt und einem ausgewählten Flußeinstellungspunkt über Frequenzantworten Steuerungskoeffizienten zu ermitteln, die bezüglich der Stabilität des pneumatischen Systems optimiert sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, mit folgenden Schritten, um das pneumatische System zu charakterisieren:

Anlegen eines Testsignals an das pneumatische System;
Überwachen eines Druck- und Flußsignals an einem Ausgang des pneumatischen Systems;
Bestimmen einer Übertragungsfunktion, welche das pneumatische System mit geschlossener Regelschleife charakterisiert, indem das Druck- und Flußsignal durch das Testsignal geteilt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem der Schritt des Bestimmens einer Übertragungsfunktion abhängig von durch den Aufbau des pneumatischen Systems mit geschlossener Regelschleife festgelegten Parametern, und abhängig von, durch einen Benutzer einstellbaren Parametern des Chromatographen durchgeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei dem der Schritt des Bestimmens der Übertragungsfunktion ferner den Schritt des Erzeugens einer Direktzugriffstabelle aufweist, in der eine oder mehrere Eigenschaften der Übertragungsfunktion abhängig von einer Serie von Druck und Fluß-Einstellungspunktpaaren abgelegt ist.

5. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei dem der Schritt des Bestimmens der Übertragungsfunktion ferner den Schritt des Erzeugens einer Funktion aufweist, die eine oder mehrere Eigenschaften der Übertragungsfunktion bei dem ausgewählten Druck-Einstellungspunkt und dem ausgewählten Fluß-Einstellungspunkt beschreibt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das dynamische Variieren der Steuerung ferner folgende Schritte aufweist:

Bestimmen eines Gewinn-Kompensationsfaktors bezüglich des ausgewählten Fluß-Einstellungspunkts aus einer Tabelle, in der der Gewinn bei verschiedenen Druckeinstellungspunkten beschreiben ist, oder basierend auf einer Funktion, die den Gewinn bezüglich des Flusses beschreibt, wobei der Gewinn-Kompensationsfaktor den Gewinn der Steuerung derart einstellt, daß ein Schleifengewinn des pneumatischen Systems von dem ausgewählten Fluß-Einstellungspunkt des Chromatographen unabhängig ist; Einstellen einer Drucksteuerung und einer Flußsteuerung (**130A**, **130B**) gemäß dem Gewinn-Kompensationsfaktor; Bestimmen eines Bandbreite-Kompensationsfaktors bezüglich des ausgewählten Druck-Einstellungspunkts aus einer Tabelle, in der die Bandbreite bei verschiedenen Flußeinstellungspunkten beschreiben ist, oder basierend auf einer Funktion, die die Bandbreite bezüglich des Drucks beschreibt, wobei der Bandbreite-Kompensationsfaktor den Gewinn der Steuerung bei ansteigendem Gesamteinlaßfluß reduziert; Einstellen der Drucksteuerung und der Flußsteuerung (**130A**, **130B**) gemäß dem Bandbreite-Kompensationsausdruck; und Erzeugen eines ersten und zweiten Ventiltreibersignals (**140A**, **140B**), um im wesentlichen eine Bandbreite bei geschlossener Regelschleife über einem breiten Bereich von Druck- und Flußeinstellungspunkten beizubehalten.

7. Pneumatisches System mit geschlossener Regelschleife, das eine dynamisch variierbare Frequenzantwort aufweist, mit folgenden Merkmalen: einem ersten Proportionalventil (**12**); einem Flußsensor (**14**), der mit dem ersten Proportionalventil (**12**) verbunden ist; einem pneumatischen System (**10**), das mit dem Flußsensor (**14**) verbunden ist; einem Drucksensor (**18**), der mit dem pneumatischen System (**10**) verbunden ist; einem zweiten Proportionalventil (**16**), das mit dem pneumatischen System verbunden ist; einem Analog-Digital-Wandler (**24**), der mit dem Flußsensor und mit dem Drucksensor verbunden ist; einer Steuerungseinrichtung (**26**), die durch eine frequenzabhängige Änderung von Eingangssignalen dynamisch variiert wird, um bei einem ausgewählten Druckeinstellungspunkt und einem ausgewählten Flußeinstellungspunkt über Frequenzantworten Steuerungskoeffizienten zu ermitteln, die bezüglich der Stabilität des pneumatischen Systems optimiert sind; und einer Ventiltreibereinrichtung (**28**) zum Steuern des ersten und des zweiten Proportionalventils, die zwischen das erste und zweite Proportionalventil und die Steuerungseinrichtung geschaltet ist, welche die Treibersignale für das erste und das zweite Ventil empfängt und das erste und zweite Proportionalventil demgemäß einstellt.

8. Pneumatisches System nach Anspruch 7, bei

dem die Steuerungseinrichtung (**26**) ferner folgende Merkmale aufweist: eine Drucksteuerung (**34**), die einen Drucksteuerungs-Kompensationsfaktor aufweist und das erste Ventiltreibersignal erzeugt; eine Flußsteuerung (**36**), die einen Flußsteuerungs-Kompensationsfaktor aufweist und das zweite Ventiltreibersignal erzeugt; eine Gewinn-Kompensationseinrichtung (**30**), die mit der Drucksteuerung (**34**) und der Flußsteuerung (**36**) verbunden ist, zum Einstellen des Drucksteuerungs-Kompensationsfaktors und des Flußsteuerungs-Kompensationsfaktors gemäß dem ausgewählten Fluß-Einstellungspunkt, wobei die Gewinn-Kompensationseinrichtung (**30**) eine Tabelle, in der der Gewinn bei verschiedenen Druckeinstellungspunkten beschreiben ist, oder eine Funktion, die den Gewinn bezüglich des Flusses beschreibt, umfaßt, wobei eine Gewinn-Kompensation eine Gewinneinstellung der Steuerung bewirkt, so daß ein Schleifengewinn des pneumatischen Systems von dem ausgewählten Fluß-Einstellungspunkt des Chromatographen unabhängig ist; und eine Bandbreite-Kompensationseinrichtung (**32**), die mit der Drucksteuerung (**34**) und der Flußsteuerung (**36**) verbunden ist, um den Drucksteuerungs-Kompensationsfaktor und den Flußsteuerungs-Kompensationsfaktor gemäß dem ausgewählten Druck-Einstellungspunkt einzustellen, wobei die Bandbreite-Kompensationseinrichtung (**32**) eine Tabelle, in der die Bandbreite bei verschiedenen Flußeinstellungspunkten beschreiben ist, oder eine Funktion, die die Bandbreite bezüglich des Drucks beschreibt umfaßt, wobei eine Bandbreite-Kompensation den Gewinn der Steuerung bei ansteigendem Gesamteinlaßfluß reduziert.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

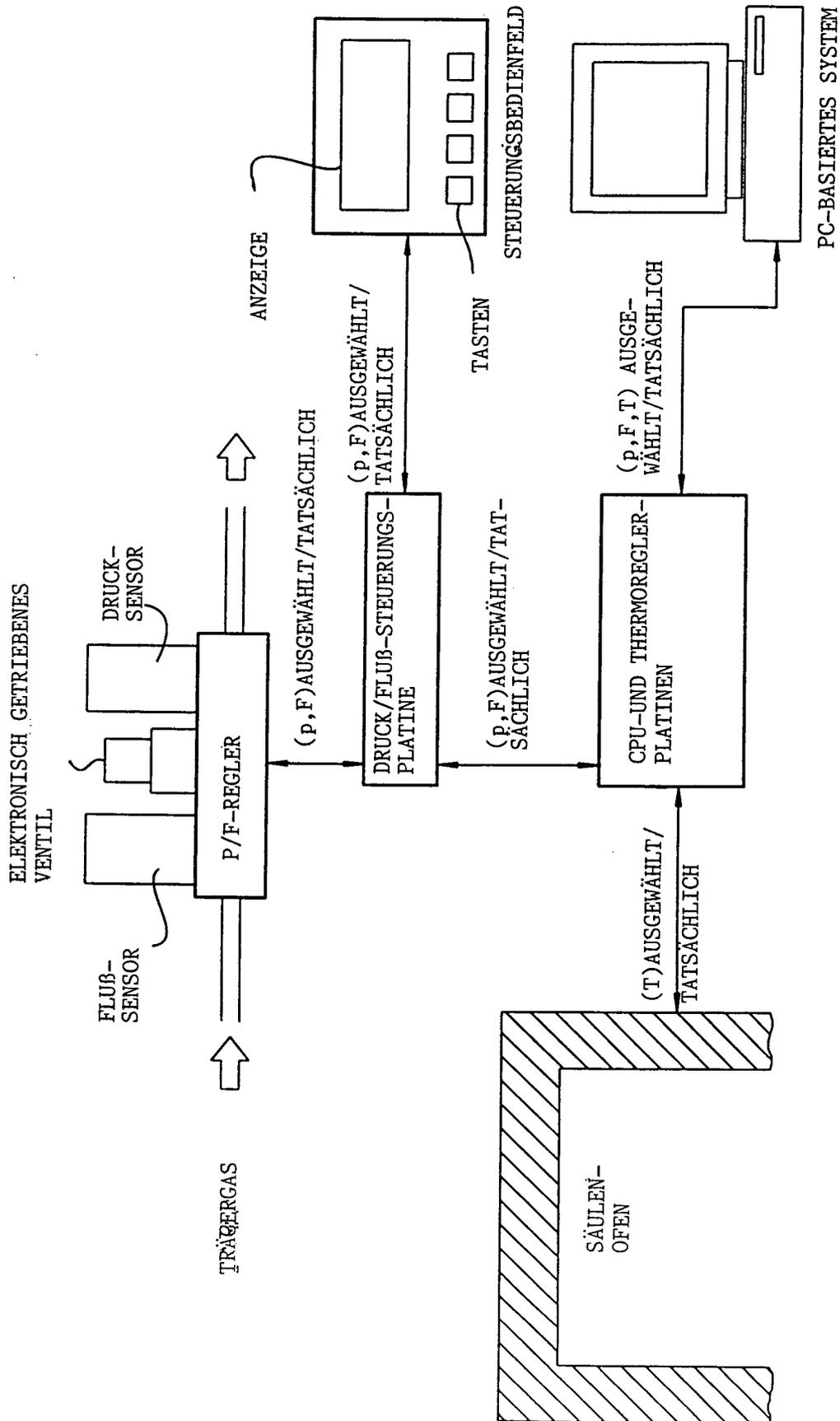


FIG. 1 (STAND DER TECHNIK)

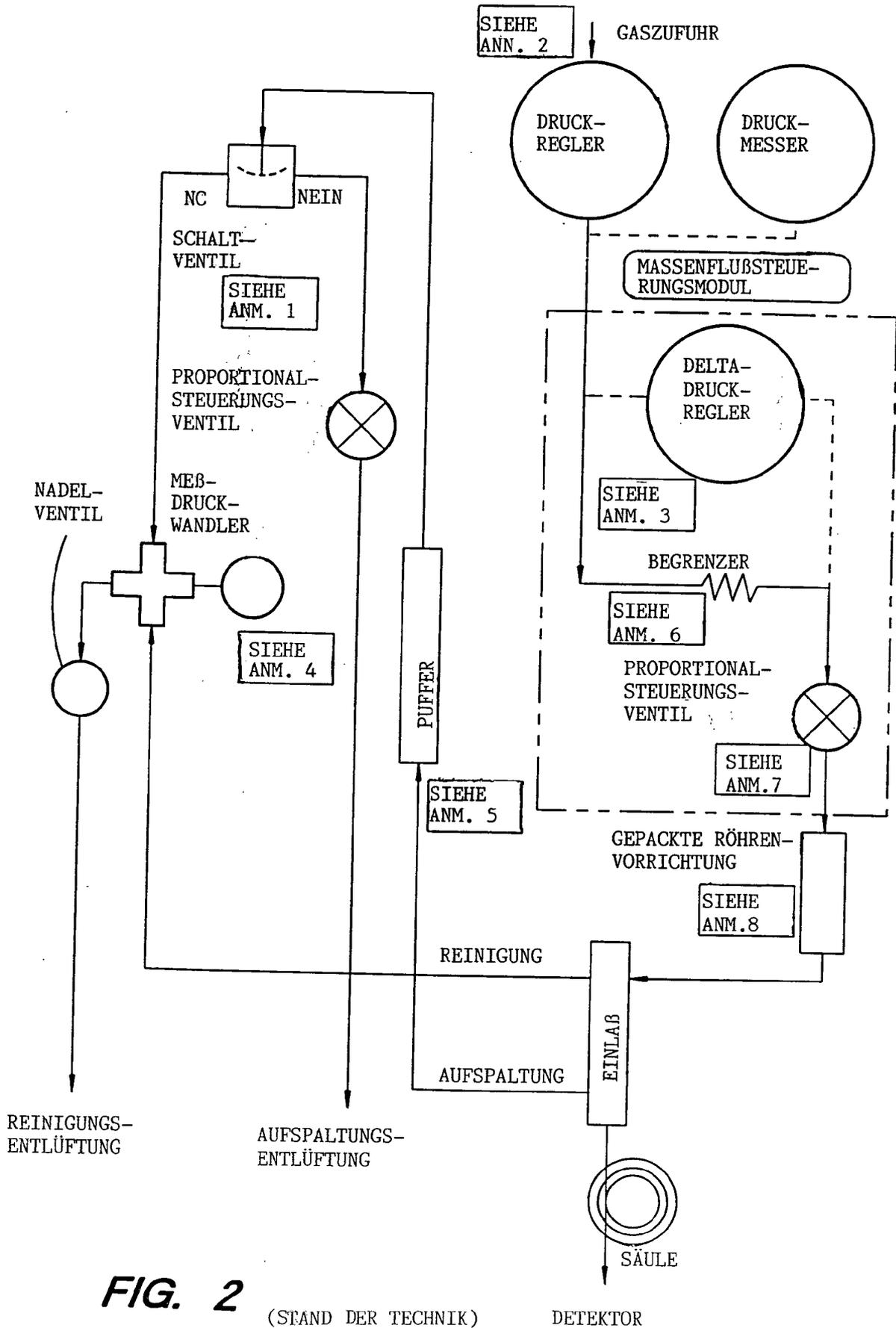


FIG. 2

(STAND DER TECHNIK)

DETEKTOR

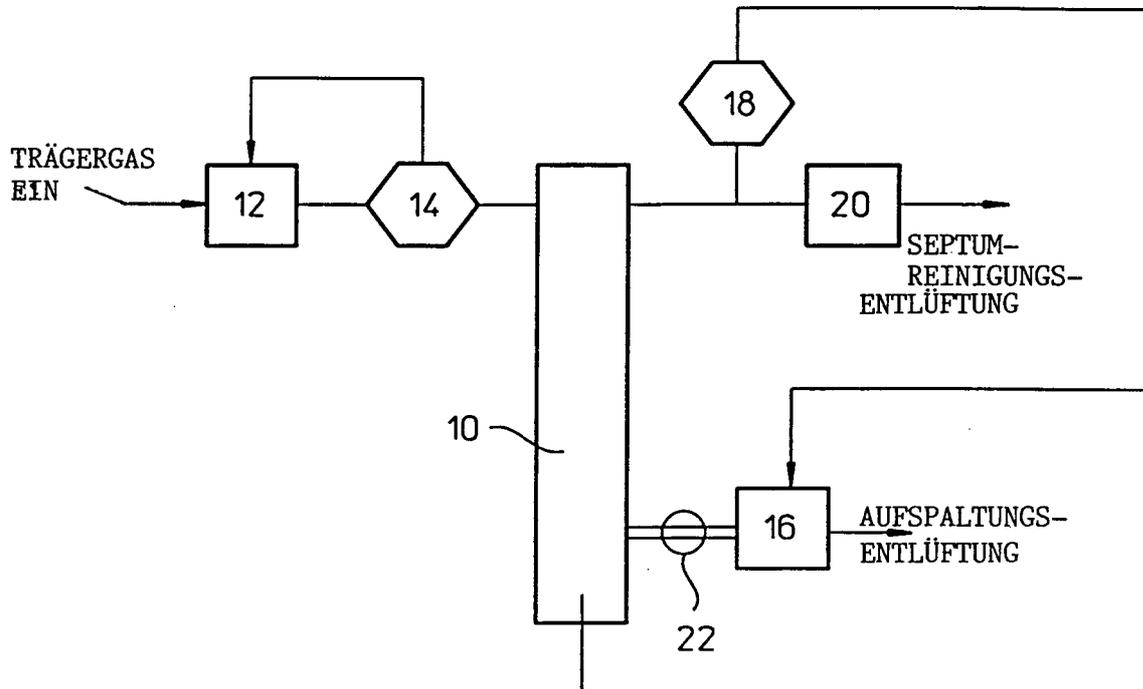


FIG. 3A

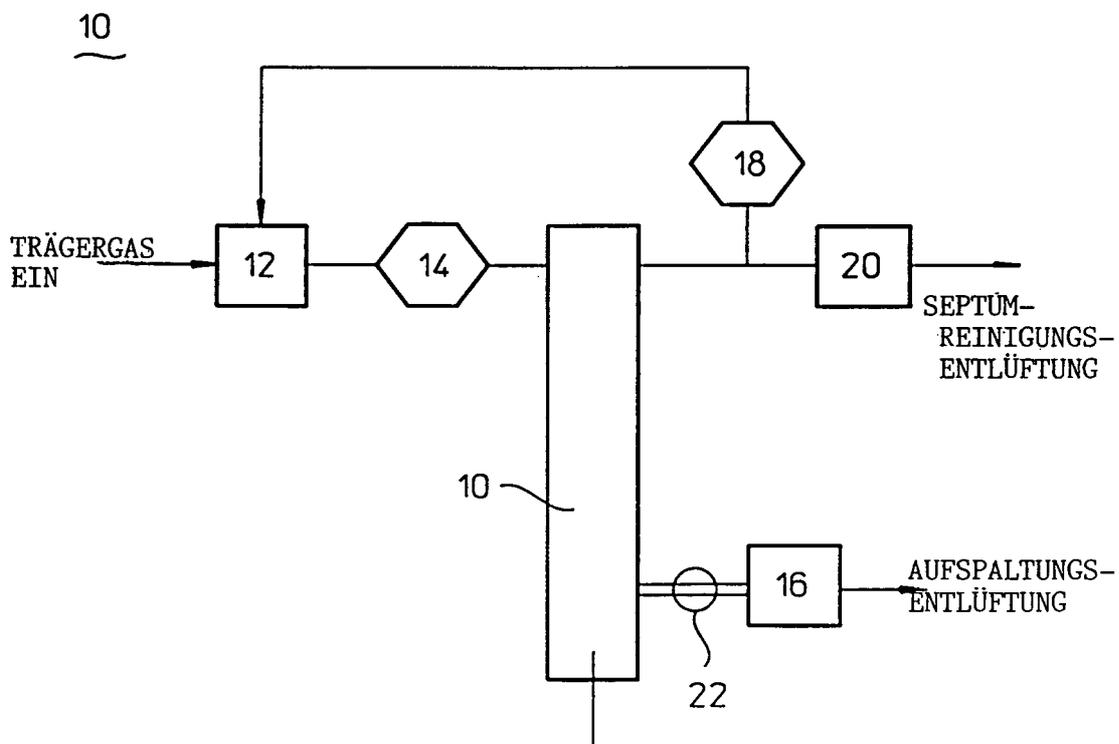


FIG. 3B

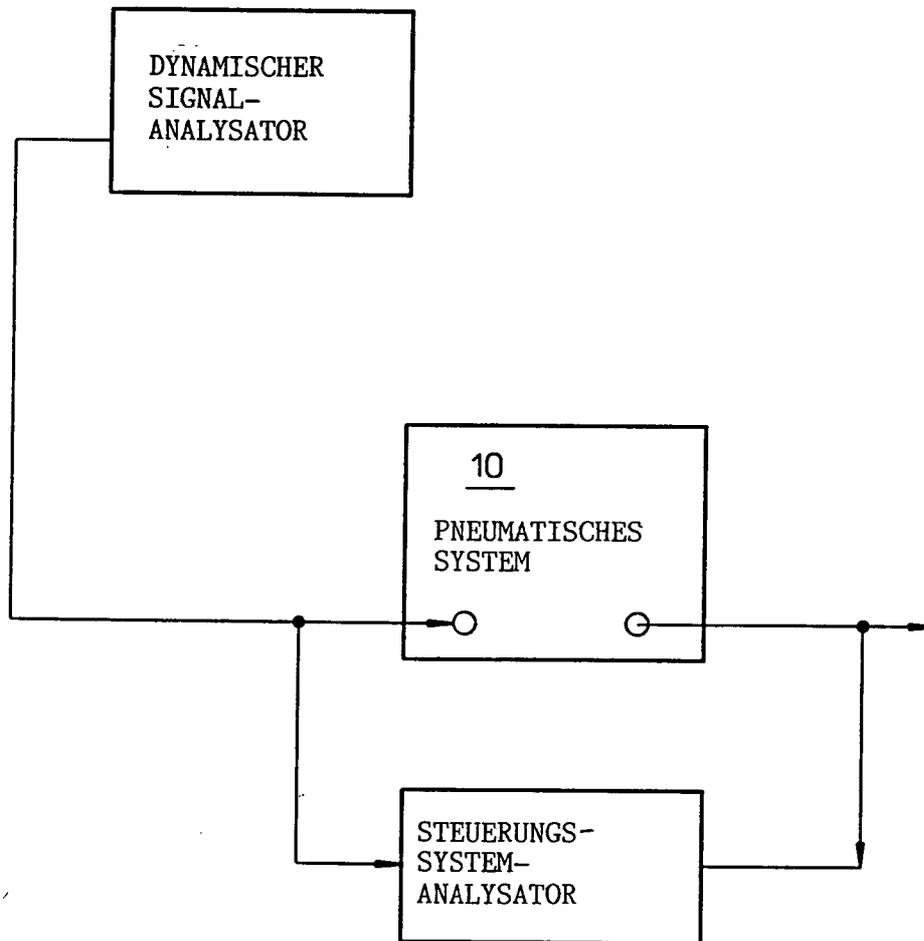


FIG. 4

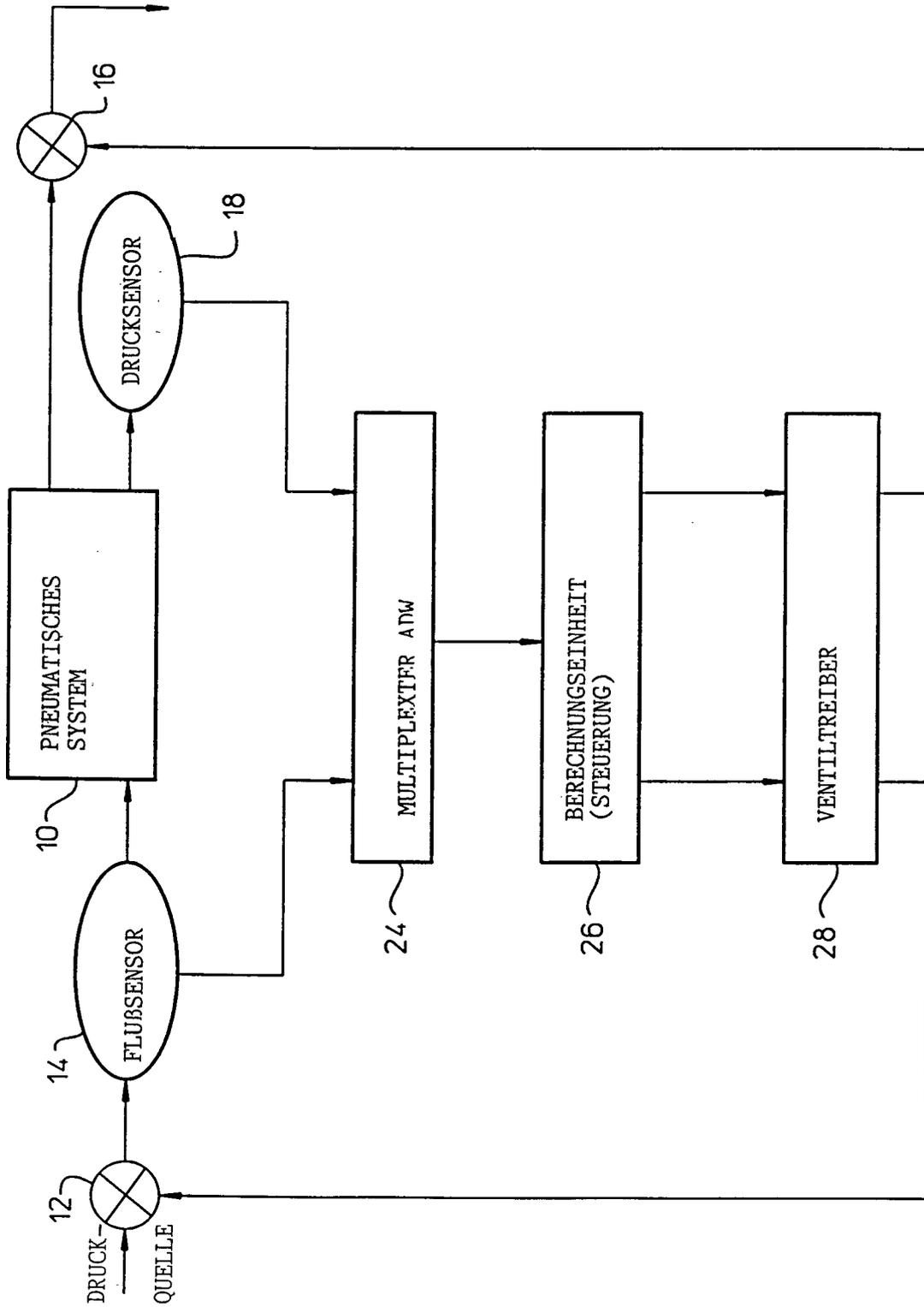


FIG. 5

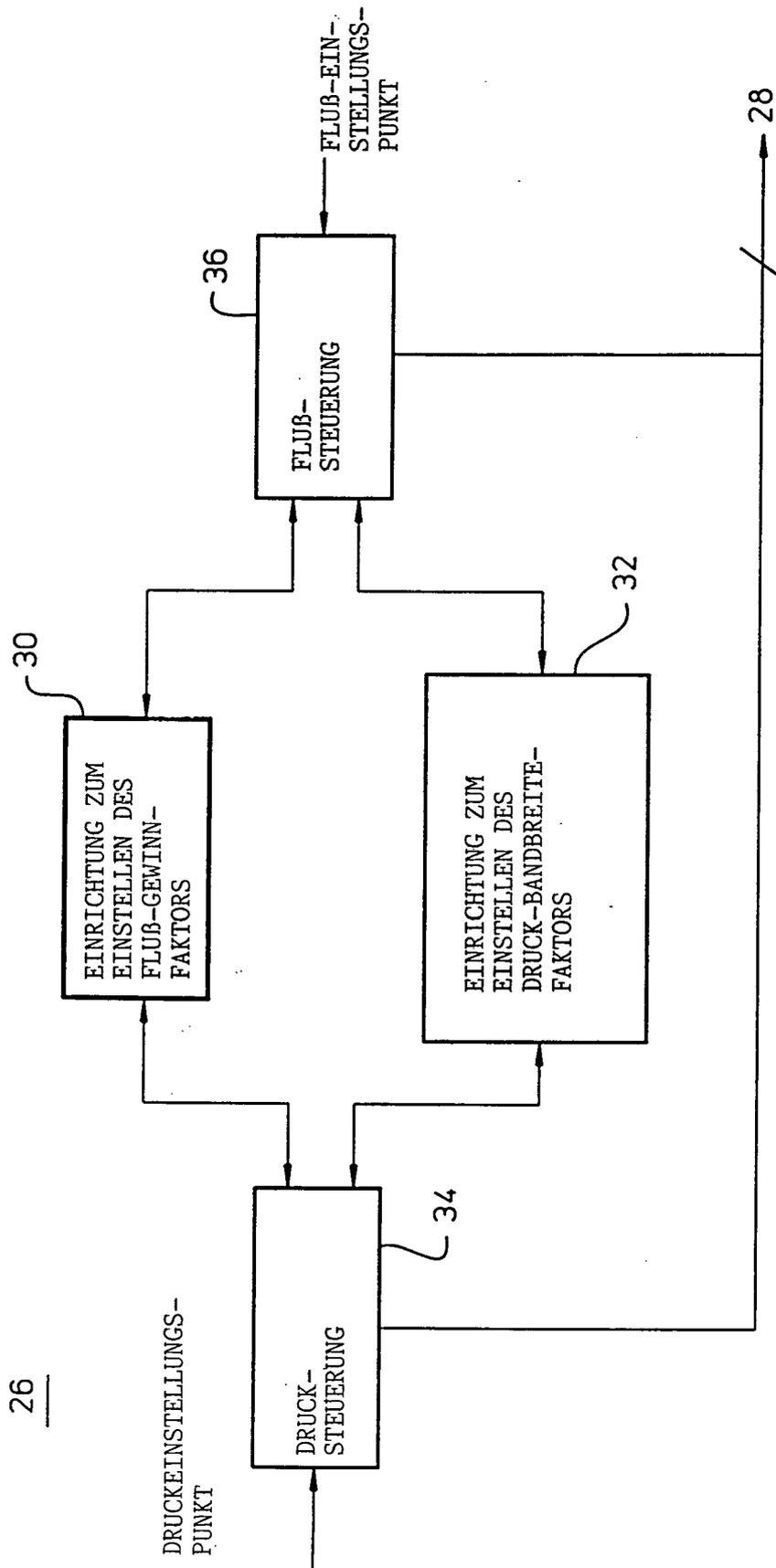


FIG. 6

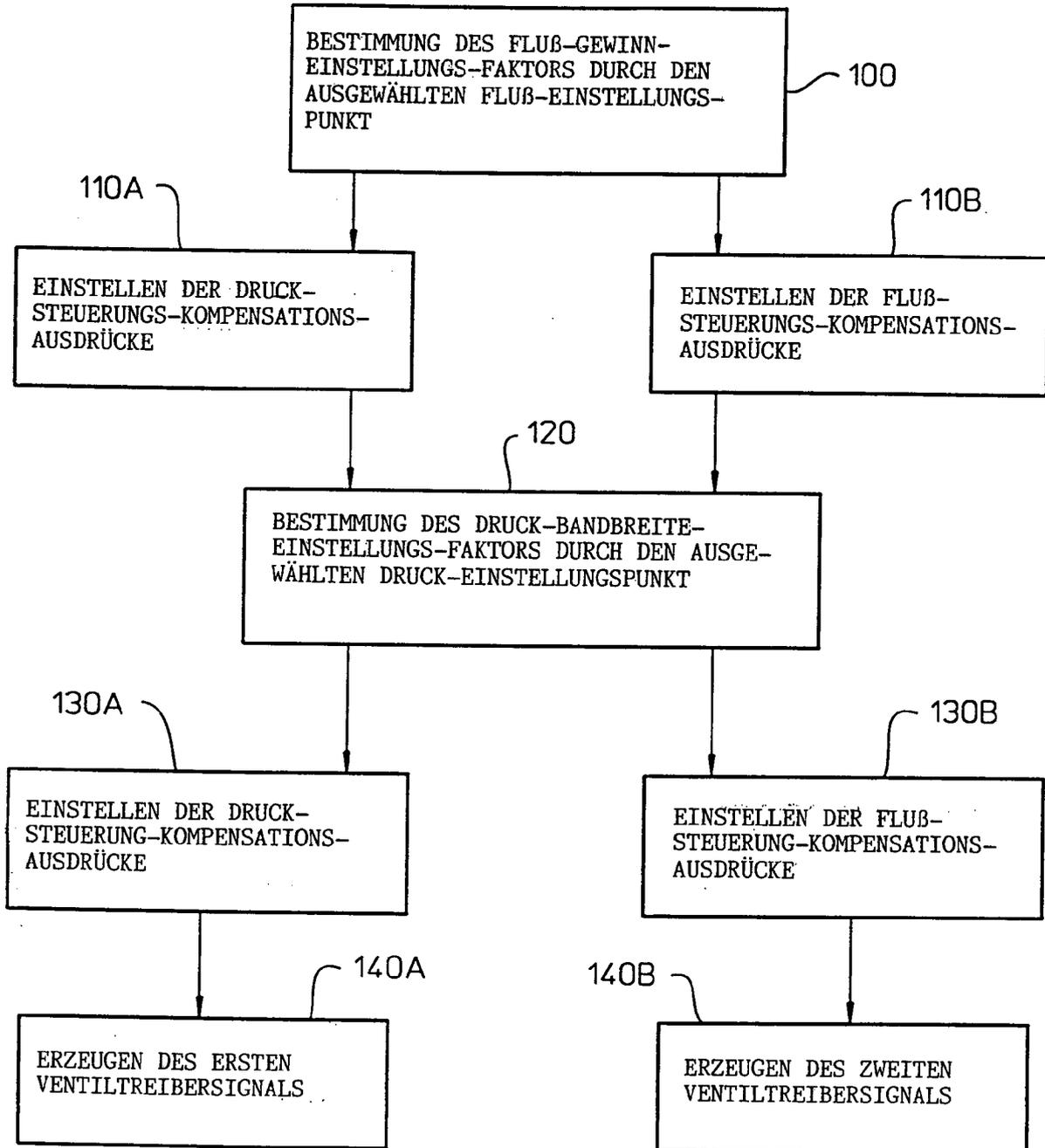


FIG. 7