



(10) **DE 199 82 582 B3** 2013.10.10

(12)

## Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **199 82 582.3**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/00151**  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1999/036747**  
(86) PCT-Anmeldetag: **13.01.1999**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **22.07.1999**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **10.10.2013**

(51) Int Cl.: **G01F 1/50 (2006.01)**  
**G01F 1/34 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**09/006,451 13.01.1998 US**

(73) Patentinhaber:  
**Rosemount Inc., Eden Prairie, Minn., US**

(74) Vertreter:  
**Vossius & Partner, 81675, München, DE**

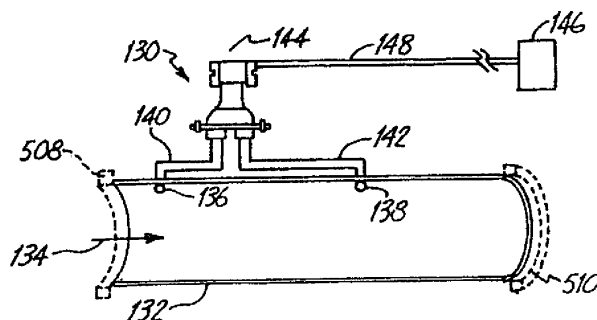
(72) Erfinder:  
**Broden, David A., Minetrista, Minn., US; Wiklund,  
David E., Eden Prairie, Minn., US**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

<b>DE</b>	<b>43 08 313</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>1 229 718</b>	<b>A</b>
<b>EP</b>	<b>0 027 402</b>	<b>A2</b>
<b>JP</b>	<b>H06- 94 490</b>	<b>A</b>

(54) Bezeichnung: **Reibungsdurchflußmesser**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung mit einem Transmitter zum Erzeugen von mit einer Strömung in einem Rohr in Beziehung stehenden Signalen, wobei die Vorrichtung aufweist: einen ersten und einen zweiten Durchlaß, durch die eine Fluidverbindung zwischen dem Transmitter und einer ersten und einer zweiten Position in der Strömung hergestellt wird, die durch einen Rohrabschnitt mit einer im wesentlichen konstanten Querschnittsfläche zwischen den beiden Positionen getrennt sind, wobei der erste Durchlaß durch eine Öffnung im Rohr mit der Strömung im Rohr in Fluidverbindung steht, wobei die Strömung eine Fluidströmungsrichtung durch das Rohr aufweist und die Öffnung im Rohr eine Abmessung quer zur Fluidströmungsrichtung und eine Abmessung parallel zur Fluidströmungsrichtung aufweist, wobei die Abmessung quer zur Fluidströmungsrichtung größer ist als die Abmessung parallel zur Fluidströmungsrichtung; einen mit dem ersten und dem zweiten Durchlaß in Fluidverbindung stehenden Drucksensor, der dazu geeignet ist, in Antwort auf einen Druck am ersten Durchlaß und einen Druck am zweiten Durchlaß ein Sensorausgangssignal bereitzustellen; und eine mit dem Drucksensor verbundene Schaltung zum Empfangen des Sensorausgangssignals und zum Bereitstellen mindestens eines digitalen Wertes, der mit der Strömung in Beziehung steht und eine Funktion des Drucks am ersten Durchlaß und des Drucks am zweiten Durchlaß ist.



**Beschreibung****Hintergrund der Erfindung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung mit einem Transmitter für eine Prozeßsteuerung. Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere einen Transmitter zum Erzeugen von mit einer Strömung in einem Rohr in Beziehung stehenden Signalen.

**[0002]** In einer Prozeßsteuerung wird eine Fluidbewegung durch Rohre durch eine Reihe von mit den Rohren verbundenen Prozeßsteuerungstransmittern überwacht. Die Transmitter weisen Sensoren auf, die den Unterschied zwischen zwei Drücken in einem Rohr (d. h. einen Differenzdruck) erfassen. Aus der Differenzdruckmessung bestimmen diese Transmitter den Massendurchfluß des Fluids im Rohr.

**[0003]** Im allgemeinen erfassen Transmitter den Differenzdruck über ein Hindernis im Rohr. Ein typisches Hindernis ist eine Lochplatte, die eine in das Rohr eingesetzte perforierte Scheibe ist. Obwohl durch solche Scheiben ein großer und leicht erfaßbarer Druckabfall erzeugt wird, wird dadurch die Massendurchflußberechnung kompliziert, weil mehrere Korrekturfaktoren in die Berechnung einfließen, um die durch die Scheibe erzeugten Fluidströmungsunterbrechungen zu berücksichtigen. Die Scheiben verursachen außerdem einen wesentlichen Druckverlust im Rohr. Durch diesen Druckverlust wird teure Energie nutzlos verschwendet.

**[0004]** Bekannte Vorrichtungen zur Bestimmung der Durchflussrate eines fluiden Mediums sind beispielsweise in den Druckschriften EP 27402 A2, DE 4308313 A1, US 1,229,718 A, sowie in der JP 06094490 A offenbart.

**Kurze Beschreibung der Erfindung**

**[0005]** Die Erfindung ist bestimmt durch den Gegenstand des unabhängigen Anspruchs 1. Weitere bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert. Insbesondere erzeugt ein Drucktransmitter Signale bezüglich eines Durchflusses in einem Rohr. Der Transmitter weist einen Drucksensor auf, der mit zwei Durchlässen im Rohr in Fluidverbindung steht, und das Rohr weist zwischen den beiden Durchlässen einen im wesentlichen konstanten Querschnitt auf. Gemäß Aspekten der Erfindung ist eine Schaltung mit dem Drucksensor verbunden, die einen mit dem Fluiddurchfluß in Beziehung stehenden digitalen Wert als Funktion der Druckdifferenz zwischen den beiden Durchlässen erzeugt.

**Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

**[0006]** Fig. 1 zeigt ein herkömmliches Massendurchflußmeßsystem;

**[0007]** Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massendurchflußtransmittersystems;

**[0008]** Fig. 3 zeigt eine Querschnittansicht eines in der vorliegenden Erfindung verwendbaren Massendurchflußtransmitters;

**[0009]** Fig. 4 zeigt ein Blockdiagramm einer dem Transmitter von Fig. 3 zugeordneten Verarbeitungsschaltung;

**[0010]** Fig. 5 zeigt einen Graphen der Reynoldsschen Zahl als Funktion des Reibungsfaktors und der Rohrrauigkeit;

**[0011]** Fig. 6 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Berechnen des Massendurchflusses;

**[0012]** Fig. 7 zeigt ein Ablaufdiagramm eines zweiten Verfahrens zum Berechnen des Massendurchflusses;

**[0013]** Fig. 8 zeigt eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massendurchflußtransmittersystems;

**[0014]** Fig. 9 zeigt eine elliptische Durchlaßöffnungsform; und

**[0015]** Fig. 10 zeigt eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Massendurchflußtransmittersystems.

**Ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen**

**[0016]** Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird das Erfordernis zur Verwendung von Lochplatten im Rohr eliminiert, indem der Druckabfall, der entlang eines Rohrabchnitts auftritt, in dem keine Hindernisse angeordnet sind und der einen im wesentlichen konstanten Querschnitt aufweist, exakt erfaßt wird. Basierend auf dieser exakten Messung verwendet die vorliegende Erfindung neuartige Techniken zum Erzeugen von mit dem Fluiddurchfluß in Beziehung stehenden digitalen Werten.

**[0017]** Fig. 1 zeigt ein herkömmliches Massendurchflußmeßsystem 100. Ein Fluid strömt in einer Richtung 102 durch ein Rohr 104, in dem eine Lochplatte 106 angeordnet ist. Strömungsaufwärts von der Lochplatte 106 wird durch eine Öffnung 108 eine Fluidverbindung zwischen dem Rohr 104 und einer Rohrleitung 110 bereitgestellt. Die Rohrleitung 110

erstreckt sich von der Öffnung **108** zu einem Transmitter **112**, und eine zweite Rohrleitung **114** erstreckt sich vom Transmitter **112** zu einer strömungsabwärts angeordneten Öffnung **116**. Sensoren im Transmitter **112** erzeugen ein eine Druckdifferenz zwischen der Öffnung **108** und der Öffnung **116** anzeigendes Differenzdrucksignal. Dieses Differenzdrucksignal wird über Prozeßsteuerungsleitungen **122** zu einem Kontrollraum **120** übertragen.

**[0018]** Der durch die Lochplatte **106** erzeugte Druckabfall ist relativ groß, so daß die Sensoren im Transmitter **112** die Druckdifferenz zwischen den beiden Öffnungen leichter exakt erfassen können. Dieser große Druckabfall stellt jedoch einen wesentlichen und teuren Energieverlust dar, weil Energie erforderlich ist, um das Fluid unter Druck zu setzen. Außerdem muß, weil der Massendurchfluß auf einer einzigen Rohrlänge manchmal durch mehrere zehn Transmitter überwacht wird, die für jede Lochplatte erforderliche zusätzliche Druckbeaufschlagung mit der Gesamtanzahl der Transmitter multipliziert werden, was zu einer großen, teuren und unnötigen Energieverschwendung führt.

**[0019]** Außerdem muß, um den herkömmlichen Transmitter in ein Rohr einzusetzen, ein Rohrschnitt entfernt werden, damit die Lochplatte eingesetzt werden kann. Dies ist ein teures Verfahren, durch das die Wahrscheinlichkeit von Leckbildungen im Rohrsystem zunimmt.

**[0020]** Lochplatten sind außerdem unerwünscht, weil bestimmte Prozeßströmungen Substanzen enthalten, die sich an der Lochplatte festsetzen können. Dadurch wird ein zusätzlicher Wartungsaufwand erforderlich, und der durch die Lochplatte verursachte unwirtschaftliche Druckabfall nimmt zu. Durch eine solche Verschmutzung oder Kontamination der Platte nimmt außerdem die Genauigkeit der durch herkömmliche Transmitter durchgeführten Durchflußmessung ab.

**[0021]** **Fig. 2** zeigt ein erfindungsgemäßes Druckmeßsystem **130**. Ein Rohr **132** transportiert ein in eine Richtung **134** strömendes Fluid an Öffnungen **136** und **138** vorbei. Die Öffnungen **136** und **138** öffnen sich zu Impulsrohren **140** bzw. **142**. Die vorzugsweise gleichen Impulsrohre **140** und **142** sind mit einem Transmitter **144** verbunden, der einen (nachstehend ausführlich dargestellten) Differenzdrucksensor aufweist. Der Transmitter **144** kann ein beliebiger in der Prozeßsteuerungsindustrie verwendeter "Transmitter"-typ sein, z. B. ein von Rosemount Inc., Eden Prairie, Minnesota erhältlicher Transmitter des Modells **1151** oder des Modells **3051**. Der Differenzdrucksensor erzeugt ein Differenzdrucksignal, das vom Transmitter **144** über eine Prozeßsteuerungsschleife **148** zu einem Kontrollraum **146** übertragen wird. Die Schleife **148** kann gemäß verschiedenen

Industrienormen betrieben werden, sie kann z. B. eine 4–20 mA-, eine HART®, eine Feldbus-, eine Profibus-Schleife, usw. sein. Gemäß einer Ausführungsform wird der Transmitter **144** durch über die Schleife **148** empfangene Leistung vollständig mit Leistung versorgt.

**[0022]** Gemäß einem Aspekt wird in einem erfindungsgemäßen Transmitter die Erkenntnis ausgenutzt, daß aufgrund der Reibung zwischen dem Fluid und dem Rohr ein linearer Druckabfall von der Öffnung **136** zur Öffnung **138** auftritt, und daß die Quadratwurzel dieses Druckabfalls der Geschwindigkeit des Fluids proportional ist.

**[0023]** **Fig. 3** zeigt einen Querschnitt des koplaren Transmitters **144** von **Fig. 2** mit einem unteren Sensorgehäuse **255** und einem oberen Elektronikmodul **257**. Der Transmitter **144** weist zwei Trennmembranen **260A** und **260B** auf, die mit Impulsrohrleitungen **140** und **142** (in **Fig. 3** nicht dargestellt) in Fluidverbindung stehen. Die Trennmembranen **260A** und **260B** übertragen den Druck in den Impulsrohrleitungen **140** bzw. **142** zu zwei durch Kammern **258A** bzw. **258B** gebildeten Fluidverbindungskanälen, zu Durchgangsöffnungen **256A** bzw. **256B** und zu Einlaßrohren **254A** bzw. **254B**. Der Differenzdrucksensor **252** ist zwischen den Einlaßrohren **254A**, **254B** angeordnet und weist eine zwischen kapazitiven oder Kondensatorplatten **272**, **274**, die Kammern **276** bzw. **278** bilden, angeschweißte Sensormembran **270** auf. Durch Druckdifferenzen zwischen den Kammern **276**, **278** wird die Sensormembran **270** ausgelenkt, wodurch sich die Kapazitätswerte zwischen den kapazitiven Platten **272**, **274** und der Sensormembran **270** ändern. Eine Sensorschalt- oder -leiterplatte **280** korrigiert auf diesen Kapazitätswerten basierende Signale, und eine Ausgangsleiterplatte **282** erzeugt damit in Beziehung stehende Ausgangssignale auf der Prozeßsteuerungsschleife **148**.

**[0024]** **Fig. 4** zeigt ein Blockdiagramm elektronischer Bauteile auf der Sensorleiterplatte **280** und der Ausgangsleiterplatte **282**. Die elektronischen Bauteile auf der linken Seite der unterbrochenen Linie **400** in **Fig. 4** sind auf der Ausgangsleiterplatte angeordnet, während die Bauteile auf der rechten Seite der Linie **400** auf der Sensorleiterplatte **280** angeordnet sind. Die Sensorleiterplatte **280** ist im Sensorgehäuse **255** des Transmitters **144** angeordnet, und die Ausgangsleiterplatte **282** ist im Elektronikmodul **257** des Transmitters **144** angeordnet.

**[0025]** Die Ausgangsleiterplatte **282** weist eine Ein-/Ausgabeschaltung **402** auf, die über die Steuerschleife **148** zugeführte Leistung in Versorgungsspannungen auf dem Bus **408** umwandelt. Ein Mehrkanal-A/D-Wandler **412** ist mit dem Differenzdrucksensor **252** verbunden und führt einem Mikroprozessor **416** über den Bus **414** den erfaßten Differenzdruck darstel-

lende Signale zu. In alternativen Ausführungsformen empfängt der A/D-Wandler **412** außerdem Signale von einem Temperatursensor **410** und einem Abso-  
lutdrucksensor **310**. Ein Speicher **418** speichert vor-  
zugsweise Informationen über die Sensoren und die  
Sensorleiterplatte **280**. Das System arbeitet gemäß  
einem durch einen Taktgeber **422** erzeugten Taktsi-  
gnal **420**. Wenn das Ausgangssignal des Transmit-  
ters **144** ein analoges Signal ist, wandelt ein D/A-  
Wandler **424** digitale Signale auf dem Bus **414** in Ana-  
logsignale um, die über eine analoge Leitung **428** der  
Ein-/Ausgabeschaltung **402** zugeführt werden. Wenn  
das Ausgangssignal des Transmitters ein digitales  
Signal ist, wie beispielsweise in einem Feldbuspro-  
tokoll, oder eine Kombination aus einem analogen  
und einem digitalen Signal, wie beispielsweise in ei-  
nem HART-Protokoll, werden die digitalen Signale  
auf dem Bus **414** der Ein-/Ausgabeschaltung **402** di-  
rekt zugeführt.

**[0026]** Der Mikroprozessor **426** empfängt digitale Si-  
gnale auf dem Bus **414** und ist mit einem nichtflüchti-  
gen Speicher **430** und mit einem RAM-Speicher **432**  
verbunden. Der Mikroprozessor **426** empfängt außer-  
dem digitale Signale auf einem bidirektionalen Bus  
**434** von der Ein-/Ausgabeschaltung **402**. Beispiele  
von von der Ein-/Ausgabeschaltung **402** empfangenen  
digitalen Signalen sind Signale, die den Rohrdurch-  
messer und die relative Rohrrauigkeit darstellen  
und zum Berechnen des Massendurchflusses  
verwendbar sind, wie nachstehend beschrieben wird.

**[0027]** Einer der Vorteile der vorliegenden Erfindung  
besteht darin, daß Massendurchflußberechnungen  
ermöglicht werden, in denen weniger empirisch be-  
stimmte Ausdrücke verwendet und durch die daher  
exaktere Ergebnisse erzeugt werden. In der Vergan-  
genheit wurde der Massendurchfluß unter Verwen-  
dung einer Lochplatte und der Gleichung:

$$Q_{\text{mass}} = NC_d E Y_1 d^2 \sqrt{(\Delta P) \rho} \quad (\text{Gleichung 1})$$

berechnet; wobei Q den Massendurchfluß; N einen  
Einheitenumwandlungsfaktor;  $C_d$  einen Durchflußko-  
effizienten; E einen Anflußgeschwindigkeitsfaktor;  $Y_1$   
einen Gasexpansionsfaktor; d einen Durchmesser  
des Differenzdruckerzeugungselements;  $\rho$  die Fluid-  
dichte und  $\Delta P$  den durch den Differenzdrucksensor  
gemessenen Differenzdruck bezeichnen. Viele die-  
ser Ausdrücke müssen hinsichtlich des bestimmten  
Fluids im Rohr angepaßt werden, und einige dieser  
Ausdrücke müssen kontinuierlich verfeinert werden,  
um Änderungen der Temperatur oder des statischen  
Drucks des Fluids zu berücksichtigen.

**[0028]** Ohne Verwendung einer Lochplatte werden  
mehrere Faktoren aus Gleichung 1 eliminiert. Ins-  
besondere sind E, der Anflußgeschwindigkeitsfaktor,  
 $Y_1$ , der Gasexpansionsfaktor und d, der Durchmesser  
des Differenzdruckerzeugungselements, in der vor-

liegenden Erfindung konstant. Daher reduziert sich  
die Gleichung für den Massendurchfluß in der vorlie-  
genden Erfindung auf:

$$Q_{\text{mass}} = C_d k_1 \sqrt{(\Delta P) \rho}, \quad (\text{Gleichung 2})$$

wobei  $k_1$  eine Konstante;  $C_d$  einen Reibungsfaktor-  
koeffizienten;  $\Delta P$  den Differenzdruck und  $\rho$  die Fluid-  
dichte bezeichnen.

**[0029]** In herkömmlichen Systemen ist der Durch-  
flußkoeffizient  $C_d$  sowohl eine Funktion der Form der  
Öffnung in der Lochplatte als auch eine Funktion der  
Geschwindigkeit, der Dichte und der Viskosität der  
Strömung. In der vorliegenden Erfindung wird der  
Durchflußkoeffizient in einen Reibungsfaktorkoeffizi-  
ent umgewandelt, der eine Funktion zweier Variablen  
ist: der Reynoldsschen Zahl und des Reibungsfaktors  
des Rohrs.

**[0030]** Wie im Graph von [Fig. 5](#) dargestellt, steht der  
Reibungsfaktor mit der Reynoldsschen Zahl und mit  
der relativen Rauigkeit des Rohrs in Beziehung. In  
[Fig. 5](#) ist die Reynoldssche Zahl auf der horizontalen  
Achse **480** dargestellt, der Reibungsfaktor ist auf der  
linken vertikalen Achse **482** dargestellt, und die relati-  
ve Rauigkeit des Rohrs ist auf der rechten vertikalen  
Achse **484** dargestellt. Für kleine Reynoldssche Zah-  
len unter  $5 \cdot 10^3$  ist die Beziehung zwischen dem Rei-  
bungsfaktor und der Reynoldsschen Zahl linear und  
unabhängig von der relativen Rohrrauigkeit. Für hö-  
here Reynoldssche Zahlen hängt die Beziehung zwis-  
chen dem Reibungsfaktor und der Reynoldsschen  
Zahl von der relativen Rohrrauigkeit ab. Diese Be-  
ziehung kann in einer Verweistabelle im Transmit-  
ter gespeichert sein oder basierend auf einer empiri-  
schen Gleichung berechnet werden.

**[0031]** In [Fig. 5](#) sind für verschiedene relative Rau-  
igkeiten mehrere verschiedene Linien dargestellt,  
die verschiedene Beziehungen zwischen dem Rei-  
bungsfaktor und der Reynoldsschen Zahl darstellen.  
Beispielsweise zeigt eine Linie **486** eine Beziehung  
zwischen dem Reibungsfaktor und der Reynoldss-  
chen Zahl bei einer relativen Rohrrauigkeit von 0,  
03.

**[0032]** Die Reynoldssche Zahl ist eine Funktion des  
Massendurchflusses und kann unter Verwendung  
der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$R_D = \frac{4Q}{\pi D \mu}, \quad (\text{Gleichung 3})$$

wobei  $R_D$  die Reynoldssche Zahl; Q den Massen-  
durchfluß,  $\pi$  eine mathematische Konstante, D den  
Innendurchmesser des Rohrs und  $\mu$  die Viskosität  
des Fluids bezeichnen.

**[0033]** Aufgrund der Unabhängigkeit ihrer Variablen  
können die Gleichungen 2 und 3 durch eine iterative



Näherung gelöst werden, die im Ablaufdiagramm von **Fig. 6** dargestellt ist. In einem ersten Schritt **700** werden die Dichte  $\rho$  und die Viskosität  $\mu$  aus dem Druck und der Temperatur des Fluids berechnet. Dann wird in Schritt **702** ein nomineller Reibungsfaktorkoeffizient ausgewählt. Dieser nominelle Wert wird basierend auf erwarteten Reibungsfaktorkoeffizienten für die bestimmte Fluidströmung ausgewählt. In Schritt **704** wird der Massendurchfluß  $Q_{i-1}$  unter Verwendung des nominellen Reibungsfaktorkoeffizienten und der Gleichung

$$Q_{i-1} = C_{d-nom} k_1 \sqrt{\Delta P} \sqrt{\rho} \quad (\text{Gleichung 4})$$

berechnet; wobei  $Q_{i-1}$  den Massendurchfluß;  $C_{d-nom}$  den nominellen Reibungsfaktorkoeffizienten;  $k_1$  eine Konstante;  $\Delta P$  einen Differenzdruck und  $\rho$  die Dichte des Fluids bezeichnen.

**[0034]** Die Reynoldssche Zahl  $R_D$  wird in Schritt **706** unter Verwendung von Gleichung 3 und  $Q_{i-1}$  von Gleichung 4 berechnet.

**[0035]** Basierend auf dem berechneten Wert  $R_D$  und einer empirischen oder theoretischen Beziehung zwischen  $R_D$  und dem Reibungsfaktorkoeffizienten  $C_d$  wird in Schritt **708** ein Wert für den Reibungsfaktorkoeffizienten  $C_d$  berechnet.

**[0036]** In Schritt **710** wird ein aktueller Massendurchfluß  $Q_1$  unter Verwendung von Gleichung 2 und des berechneten Reibungsfaktorkoeffizienten  $C_d$  berechnet. In einem Entscheidungsschritt **712** wird ein Konvergenzkriterium mit der Differenz zwischen dem aktuellen Massendurchfluß  $Q_1$  und dem vorher berechneten Massendurchfluß  $Q_{i-1}$  verglichen. Wenn die Differenz zwischen dem aktuellen Massendurchfluß und dem zuletzt berechneten Massendurchfluß kleiner ist als das Konvergenzkriterium, wird der aktuelle Massendurchfluß  $Q_i$  in Schritt **714** als der berechnete Massendurchfluß ausgegeben. Wenn die Differenz zwischen dem aktuellen Massendurchfluß und dem zuletzt berechneten Massendurchfluß nicht kleiner ist als das Konvergenzkriterium, wird der Wert des aktuellen Massendurchflusses in Schritt **716** als vorangehender Massendurchfluß  $Q_{i-1}$  festgelegt, und die Schritte **706**, **708**, **710** und **712** werden wiederholt.

**[0037]** Um die Berechnungen weiter zu vereinfachen, können die Dichte und die Viskosität als konstant vorausgesetzt werden. **Fig. 7** zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Berechnen des Massendurchflusses, wenn eine konstante Dichte und eine konstante Viskosität vorausgesetzt werden, wobei in Schritt **720** ein nomineller Reibungsfaktorkoeffizient ausgewählt wird. Dieser nominelle Reibungsfaktorkoeffizient wird verwendet, um in Schritt **722** einen Massendurchfluß  $Q_{i-1}$  unter Verwendung der Gleichung:

$$Q_{i-1} = C_{d-nom} k_2 \sqrt{\Delta P} \quad (\text{Gleichung 5})$$

zu berechnen; wobei  $C_{d-nom}$  den nominellen Reibungsfaktorkoeffizienten;  $k_2$  eine Konstante und  $\Delta P$  den Differenzdruck bezeichnen. Der spezifische Wert von  $k_2$  hängt von vielen Faktoren ab, z. B. vom Innendurchmesser des Rohrs und vom Abstand zwischen den Differenzdruckdurchlaßöffnungen. In Schritt **724** wird der berechnete Massendurchfluß  $Q_{i-1}$  zum Berechnen einer Reynoldsschen Zahl  $R_D$  unter Verwendung der folgenden Gleichung:

$$R_D = k_3 Q_{i-1} \quad (\text{Gleichung 6})$$

verwendet; wobei  $k_3$  eine Konstante ist, die erhalten wird, indem der Wert 4 durch das Produkt aus der Viskosität der Strömung, dem Innendurchmesser des Rohrs und  $\pi$  geteilt wird.

**[0038]** Basierend auf dem berechneten Wert  $R_D$  wird in Schritt **726** ein Reibungsfaktorkoeffizient  $C_d$  berechnet. Der Reibungsfaktorkoeffizient kann entweder auf einer empirischen Beziehung oder auf einer theoretischen Beziehung zwischen  $R_D$  und  $C_d$  basieren. Nachdem  $C_d$  berechnet wurde, wird in Schritt **728** ein aktueller Massendurchfluß  $Q_i$  unter Verwendung der Gleichung:

$$Q = C_d k_2 \sqrt{\Delta P} \quad (\text{Gleichung 7})$$

berechnet; wobei  $k_2$  die gleiche Konstante ist, wie die in Gleichung 5 verwendete Konstante.

**[0039]** Im Entscheidungsblock **730** wird der aktuelle Massendurchfluß  $Q_i$  mit dem vorangehenden Massendurchfluß  $Q_{i-1}$  verglichen, um festzustellen, ob die Differenz zwischen den beiden Werten kleiner ist als das Konvergenzkriterium. Wenn die Differenz kleiner ist als das Konvergenzkriterium, wird der aktuelle Massendurchfluß  $Q_i$  in Schritt **732** als Massendurchfluß ausgegeben. Wenn die Differenz nicht kleiner ist als das Konvergenzkriterium, wird der vorangehende Massendurchfluß  $Q_{i-1}$  in Schritt **734** auf den Wert des aktuellen Massendurchflusses gesetzt, und die Schritte **724**, **726**, **728** und **730** werden wiederholt.

**[0040]** Bei ausreichend großen Reynoldsschen Zahlen ist der Reibungsfaktorkoeffizient konstant, und der Massendurchfluß ist unabhängig von der Reynoldsschen Zahl, der Viskosität oder der Dichte des Fluids. Für solche Reynoldsschen Zahlen lautet die Gleichung zum Berechnen des Massendurchflusses:

$$Q = k_4 \sqrt{\Delta P} \sqrt{\rho} \quad (\text{Gleichung 8})$$

wobei  $Q$  den Massendurchfluß,  $\rho$  die Dichte,  $k_4$  eine Konstante und  $\Delta P$  den Differenzdruck bezeichnen. Weil der Reibungsfaktorkoeffizient konstant ist, wird er in die Konstante  $k_4$  gefaltet. Es sind keine Itera-

tionen erforderlich, wenn die Reynoldssche Zahl als konstant betrachtet wird.

**[0041]** Die vorliegende Erfindung kann in Verbindung mit mehreren verschiedenen Durchlaßformen verwendet werden. Beispielsweise ist in **Fig. 8** ein erfindungsgemäßer Transmitter **520** mit Impulsrohrleitungen **522** und **524** verbunden, die über Öffnungen **530** und **532** mit dem Inneren ringförmiger Buchsen **526** und **528** in Fluidverbindung stehen. Die Buchse **526** ist an ringförmigen Schweißstellen oder Schweißnähten **538** bzw. **540** an Rohrabschnitten **534** und **536** angeschweißt, so daß zwischen den beiden Rohrabschnitten ein ringförmiger Zwischenraum **542** verbleibt. Ähnlicherweise ist die Buchse **528** durch ringförmige Schweißstellen oder Schweißnähte **546** bzw. **548** mit Rohrabschnitten **544** und **536** verbunden, so daß zwischen den beiden Rohrabschnitten ein Zwischenraum **550** verbleibt. Die ringförmigen Buchsen **526** und **528** tragen dazu bei, durch Wirbel in der Strömung verursachte Druckmeßfehler zu eliminieren.

**[0042]** **Fig. 9** zeigt eine zweite Ausführungsform eines in einem Rohr ausgebildeten Durchlasses. Der Durchlaß **582** bildet eine Öffnung, die nicht rund, sondern elliptisch ist, wobei ihre Abmessung quer zur allgemeinen Fluidströmungsrichtung **586** größer ist als ihre Abmessung in der allgemeinen Fluidströmungsrichtung **586**.

**[0043]** **Fig. 10** zeigt eine erfindungsgemäße Drucktransmitteranordnung **601** mit einem über Steuerleitungen **606** mit einem Steuermodul **604** verbundenen Transmitter **602**. Der Transmitter **602** ist über eine erste Rohrleitung **610** und eine Rohrleitungsanordnung **612**, die aus einer zweiten Rohrleitung **614**, einer dritten Rohrleitung **616** und einer vierten Rohrleitung **618** gebildet wird, mit dem Steuermodul **604** verbunden. Ventile **620**, **622** und **624** einer Ventilanordnung **626** trennen die Rohrleitungen **614**, **616** bzw. **618** vom Rohr **608**. Die Ventile **620**, **622** und **624** werden über am Transmitter **602** befestigte Steuerleitungen **628**, **630** bzw. **632** gesteuert. Die Ventile **620**, **622** und **624** werden entweder direkt durch den Transmitter **602** oder durch das Steuermodul **604** über den Transmitter **602** gesteuert.

**[0044]** Die Drucktransmitteranordnung **601** ermöglicht es dem Drucksensor im Drucktransmitter **602**, verschiedene Positionen entlang der Länge des Rohrs anzusteuern. Wenn die Fluidströmung keinen ausreichenden Differenzdruck zwischen den Rohrleitungen **610** und **614** erzeugt, können die Ventile **620** und **624** geschlossen werden, und das Ventil **622** kann geöffnet werden. Durch Schließen der Ventile **620** und **624** und Öffnen des Ventils **622** wird der Differenzdruck zwischen den Rohrleitungen **610** und **616** gemessen. Weil die Rohrleitung **616** weiter entfernt von der Rohrleitung **610** angeordnet ist, ist der

Druckabfall von der Rohrleitung **610** zur Rohrleitung **616** größer als der Druckabfall von der Rohrleitung **610** zur Rohrleitung **614**. Durch Erhöhen des Druckabfalls zwischen den beiden mit dem Sensor verbundenen Rohrleitungen kann dem Sensor ein innerhalb des Meßbereichs des Sensors liegender Differenzdruck zugeführt werden.

**[0045]** Ähnlicherweise kann, wenn die Fluidströmung einen zu hohen Differenzdruck zwischen den Rohrleitungen **610** und **618** erzeugt, das Ventil **624** geschlossen und das Ventil **620** geöffnet werden, um den dem Sensor zugeführten Differenzdruck zu reduzieren. Ähnlicherweise können, wenn der Druck zwischen den Rohrleitungen **616** und **610** zu groß für den Sensor ist, die Ventile **622** und **624** geschlossen werden, und das Ventil **620** kann geöffnet werden, so daß der Druckabfall zwischen den Rohrleitungen **610** und **614** gemessen wird.

**[0046]** Um die Berechnungen zu vereinfachen, kann der Transmitter einem Rohrabschnitt zugeordnet sein, der so hergestellt ist, daß er eine gewünschte relative Rauigkeit aufweist. Ein solcher Rohrabschnitt ist in **Fig. 2** schematisch dargestellt, wobei an den Enden des Rohrs **132** zwei Flanschen **508** und **510** ausgebildet sind, um zu ermöglichen, daß der Rohrabschnitt in eine Öffnung in einer Rohrleitung eingeführt und damit verbunden werden kann. Die Rauigkeit des Rohrabschnitts kann während des Rohrformungsvorgangs, durch Abrieb, z. B. durch Sandstrahlen, oder dadurch erzeugt werden, daß spiralförmige Nuten in die gesamte oder in einen Teil der Rohroberfläche geschnitten werden.

**[0047]** Obwohl die vorliegende Erfindung unter Bezug auf bevorzugte Ausführungsformen beschrieben wurde, ist für Fachleute ersichtlich, daß innerhalb des Schutzzumfangs der Erfindung Änderungen vorgenommen werden können.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung mit einem Transmitter zum Erzeugen von mit einer Strömung in einem Rohr in Beziehung stehenden Signalen, wobei die Vorrichtung aufweist:

einen ersten und einen zweiten Durchlaß, durch die eine Fluidverbindung zwischen dem Transmitter und einer ersten und einer zweiten Position in der Strömung hergestellt wird, die durch einen Rohrabschnitt mit einer im wesentlichen konstanten Querschnittsfläche zwischen den beiden Positionen getrennt sind, wobei der erste Durchlaß durch eine Öffnung im Rohr mit der Strömung im Rohr in Fluidverbindung steht, wobei die Strömung eine Fluidströmungsrichtung durch das Rohr aufweist und die Öffnung im Rohr eine Abmessung quer zur Fluidströmungsrichtung und eine Abmessung parallel zur Fluidströmungsrichtung aufweist, wobei die Abmes-

sung quer zur Fluidströmungsrichtung größer ist als die Abmessung parallel zur Fluidströmungsrichtung; einen mit dem ersten und dem zweiten Durchlaß in Fluidverbindung stehenden Drucksensor, der dazu geeignet ist, in Antwort auf einen Druck am ersten Durchlaß und einen Druck am zweiten Durchlaß ein Sensorausgangssignal bereitzustellen; und eine mit dem Drucksensor verbundene Schaltung zum Empfangen des Sensorausgangssignals und zum Bereitstellen mindestens eines digitalen Wertes, der mit der Strömung in Beziehung steht und eine Funktion des Drucks am ersten Durchlaß und des Drucks am zweiten Durchlaß ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei in einem Rohrabschnitt zwischen der ersten Position und der zweiten Position das Verhältnis der Rauigkeit zum Innendurchmesser derart ist, daß ein Reibungsfaktor des Rohrabschnitts über einen Bereich von Reynoldsschen Zahlen konstant ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Schaltung fernereinen digitalen Speicher zum Speichern von Korrekturwerten aufweist, durch die das Sensorausgangssignal korrigiert werden kann, um eine genauere Anzeige der durch den Sensor erfaßten Drücke bereitzustellen.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei die Schaltung ferner einen mit dem digitalen Speicher verbundenen Mikroprozessor aufweist, wobei der Mikroprozessor in der Lage ist, das Sensorausgangssignal basierend auf den im digitalen Speicher gespeicherten Korrekturwerten zu korrigieren.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei der Mikroprozessor ferner in der Lage ist, Diagnosetests bezüglich des Drucksensors auszuführen.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner mit einem Temperatursensor zum Bereitstellen eines Temperatursignals und einem Absolutdrucksensor zum Erzeugen eines Absolutdrucksignals, wobei die Schaltung einen Mikroprozessor zum Empfangen von Signalen aufweist, die das Temperatursignal, das Absolutdrucksignal und das Sensorausgangssignal darstellen, und in der Lage ist, einen Massendurchfluß der Strömung im Rohr zu berechnen.

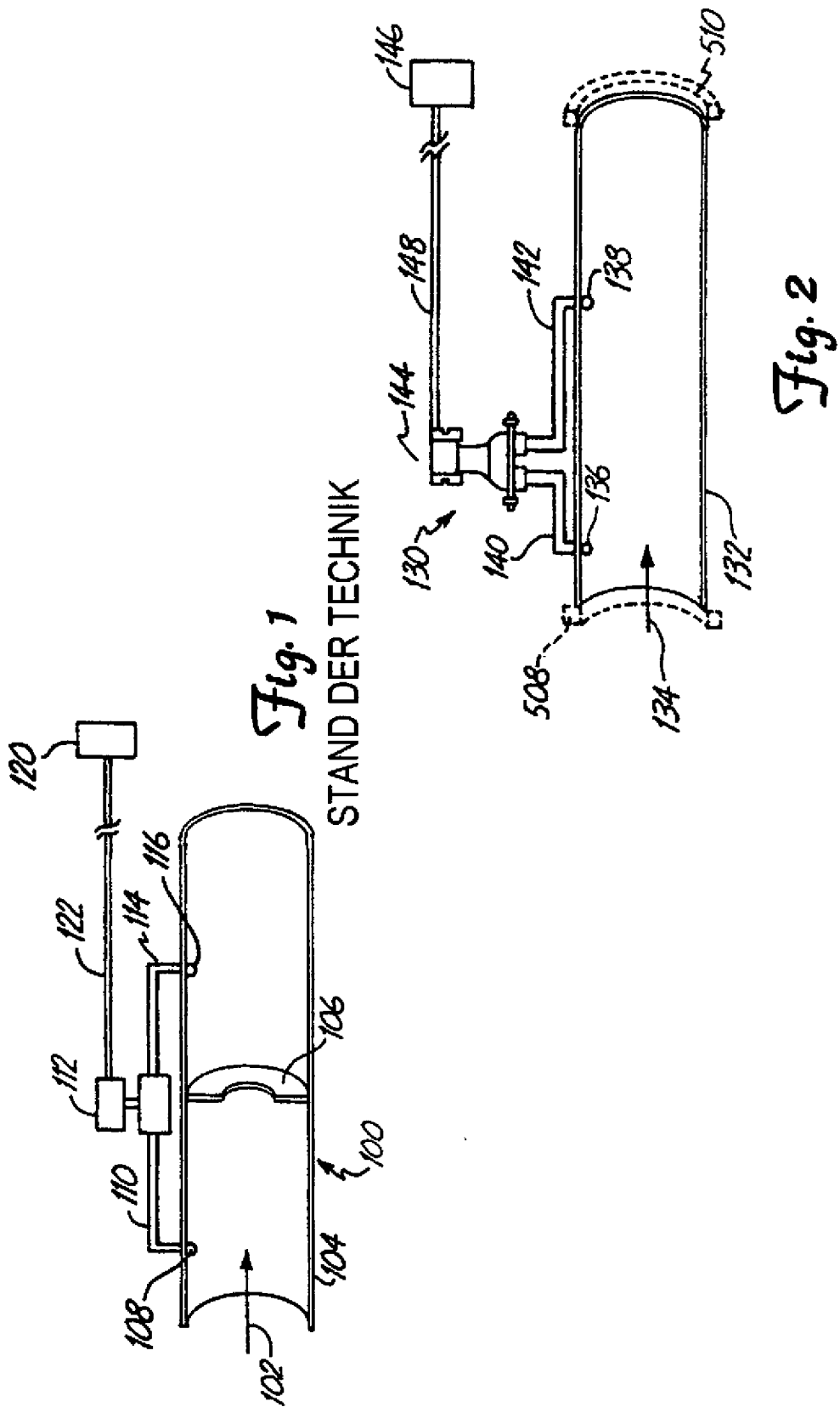
7. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Öffnung im Rohr eine ringförmige Öffnung ist, durch die zwei getrennte Rohrabschnitte gebildet werden, wobei die beiden Rohrabschnitte durch einen Dichtring miteinander verbunden sind, der mit beiden Rohrabschnitten dicht verbunden ist und die Öffnung aufweist, durch die die Fluidverbindung zwischen dem ersten Durchlaß und der Strömung im Rohr ermöglicht wird.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der zweite Durchlaß durch einen Abschnitt einer Rohrleitungsanordnung und einer Ventilanordnung mit der Strömung im Rohr in Fluidverbindung steht, wobei die Rohrleitungsanordnung und die Ventilanordnung dazu geeignet sind, eine Stelle für die zweite Position auszuwählen, wobei die Rohrleitungsanordnung mindestens zwei Rohrleitungen aufweist, wobei jede Rohrleitung ein mit dem zweiten Durchlaß in Fluidverbindung stehendes erstes Ende und ein mit der Strömung im Rohr in Fluidverbindung stehendes zweites Ende aufweist, jede Rohrleitung ein zugeordnetes Ventil der Ventilanordnung zwischen dem ersten und dem zweiten Ende jeder Rohrleitung aufweist und jedes Ventil die Fluidverbindung zwischen dem ersten und dem zweiten Ende seiner zugeordneten Rohrleitung steuert.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei das zweite Ende einer ersten Rohrleitung entlang des Rohrs in einem ersten Abstand von der ersten Position angeordnet ist, und wobei das zweite Ende einer zweiten Rohrleitung entlang des Rohrs in einem zweiten Abstand von der ersten Position angeordnet ist, wobei der zweite Abstand größer ist als der erste Abstand.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





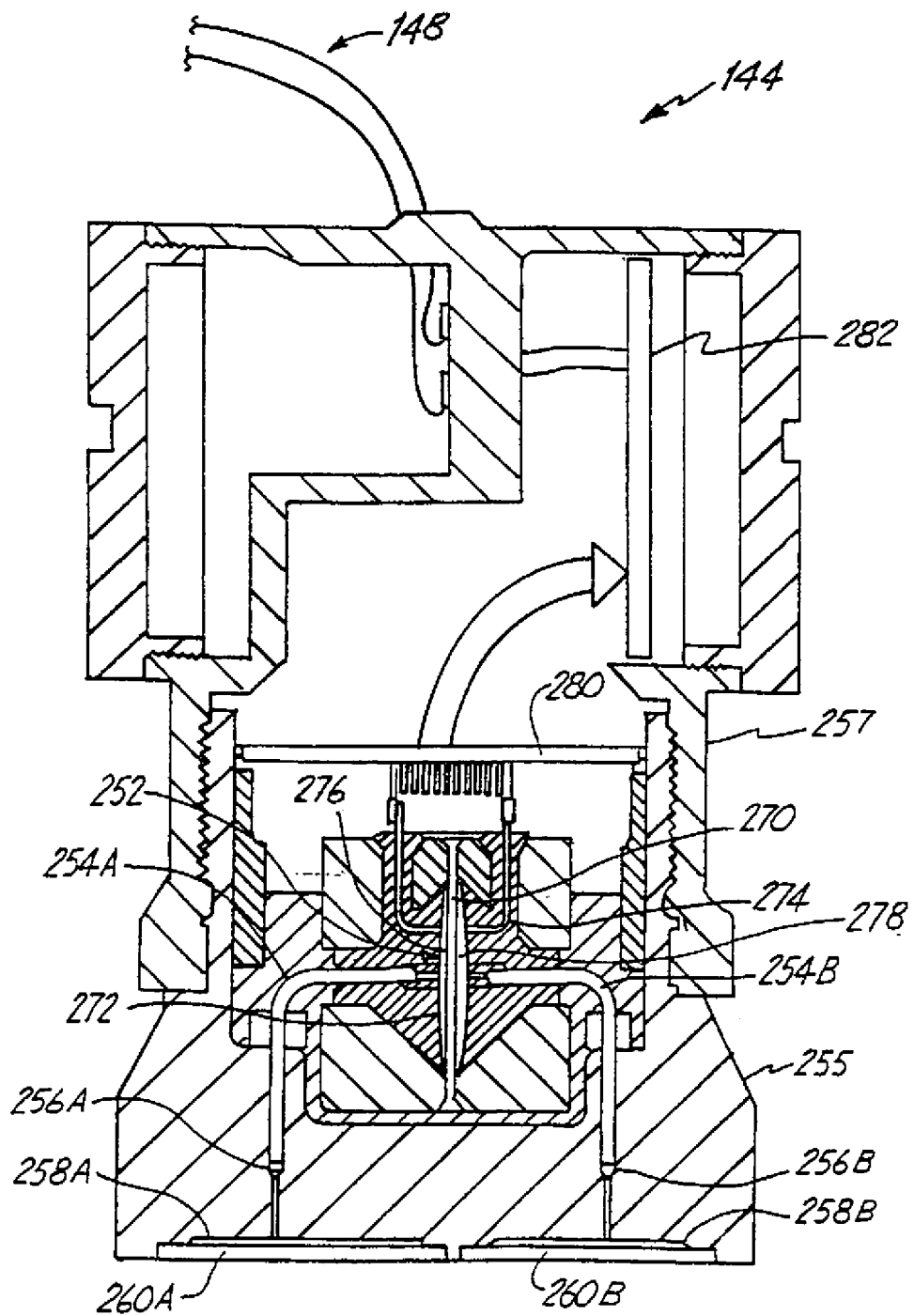


Fig. 3

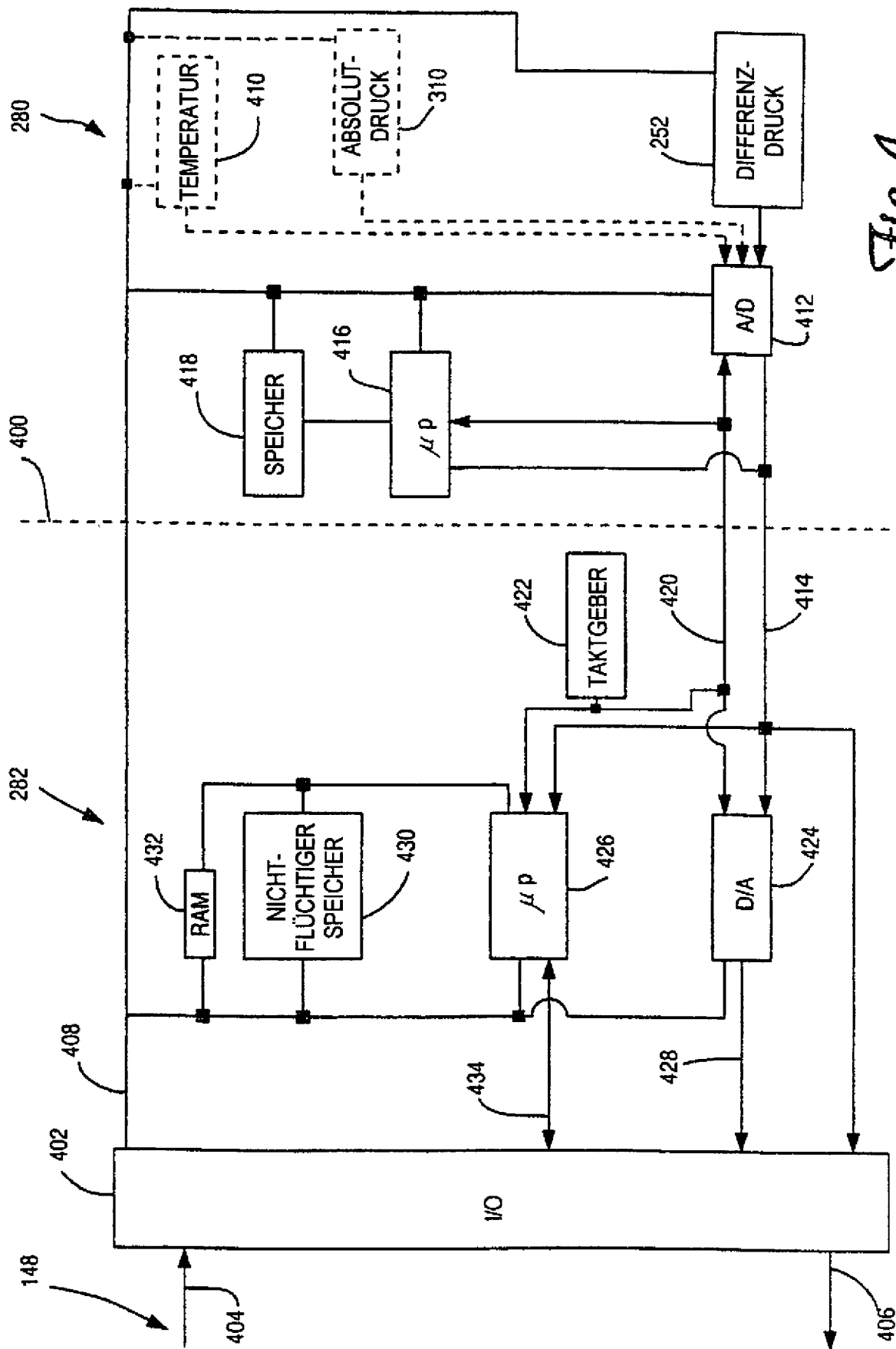
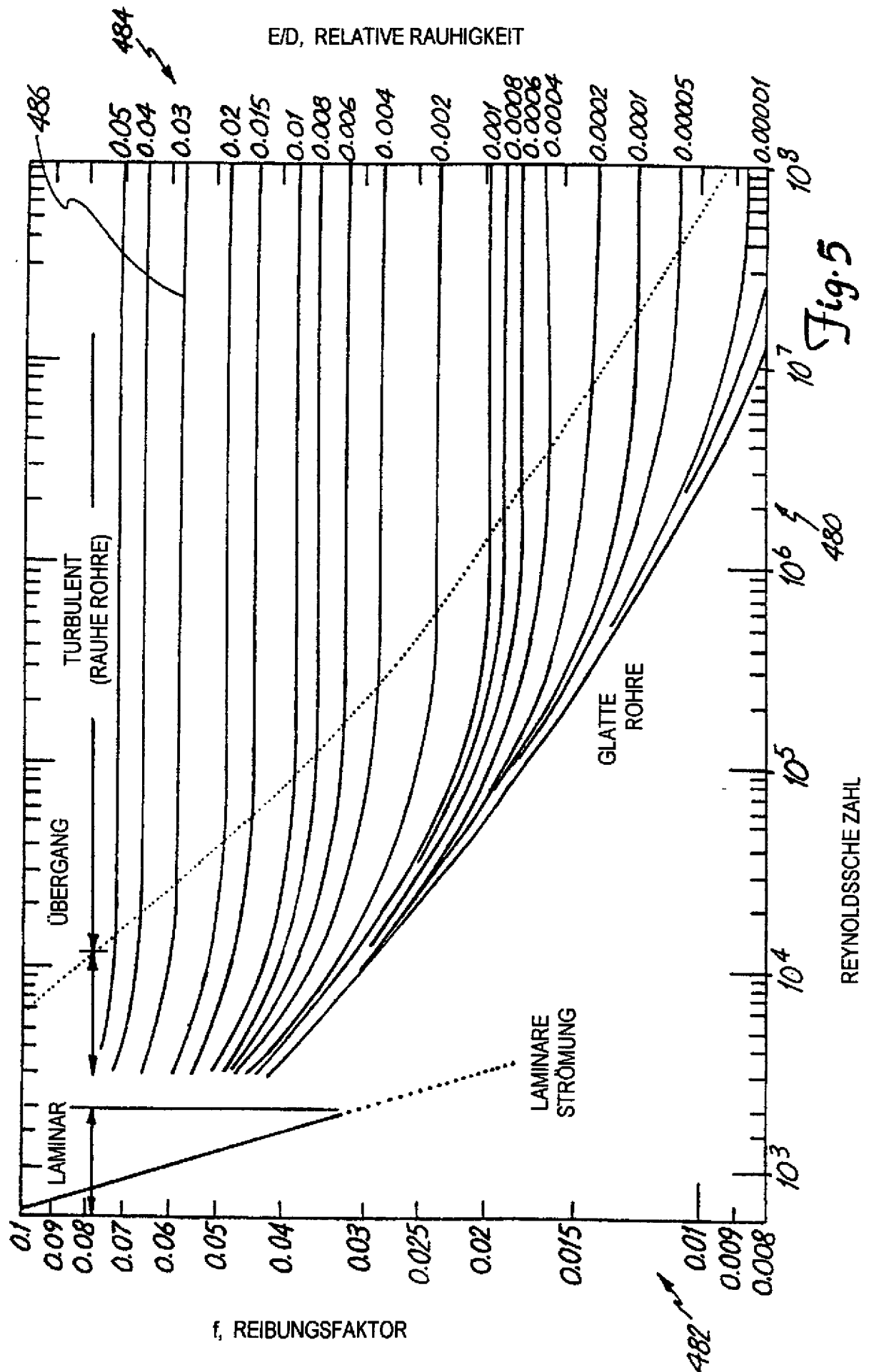


Fig. 4



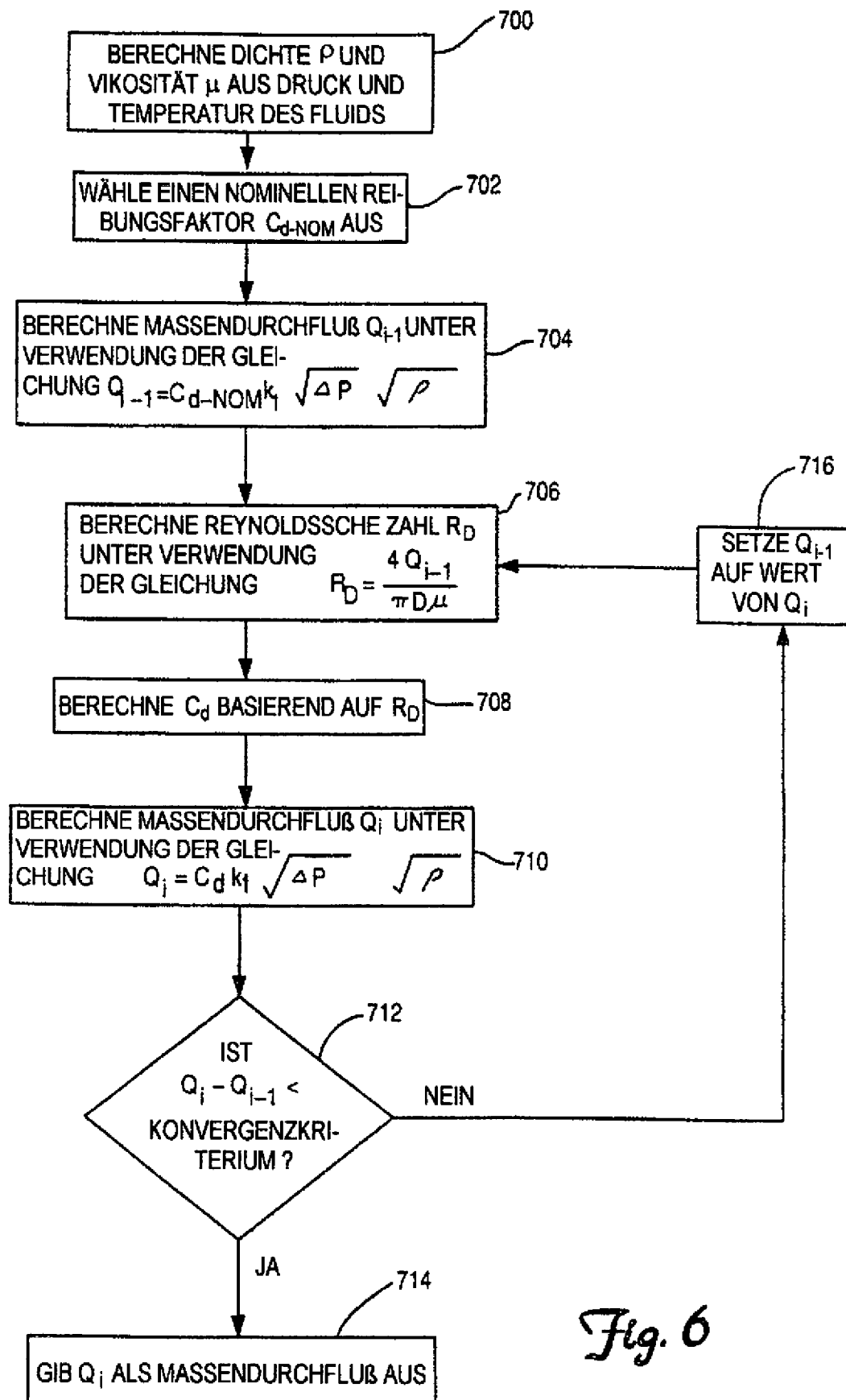


Fig. 6

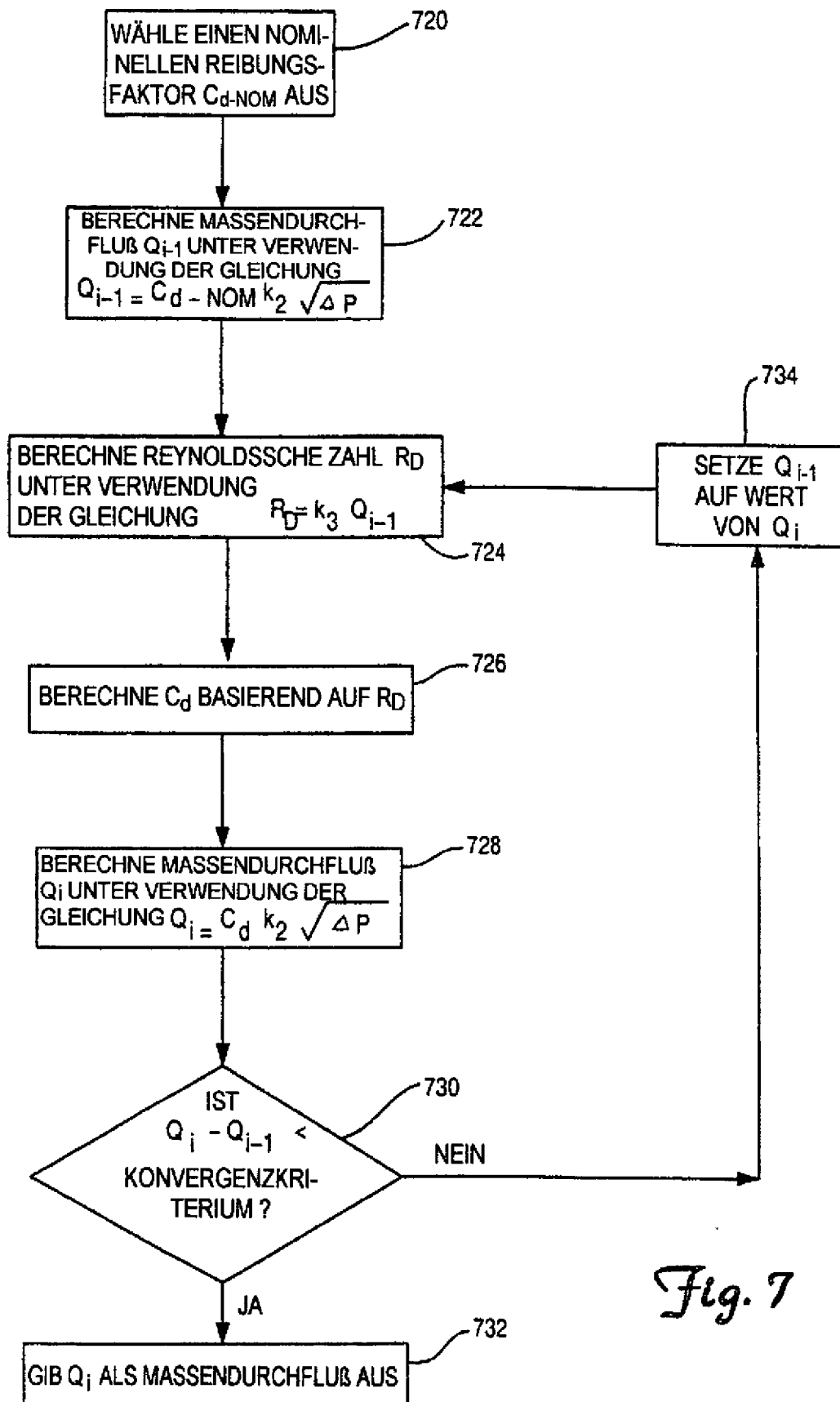
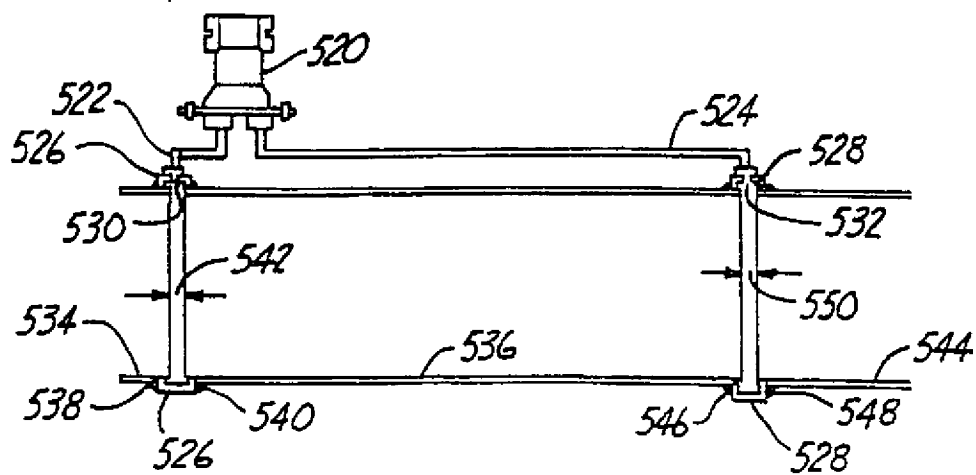
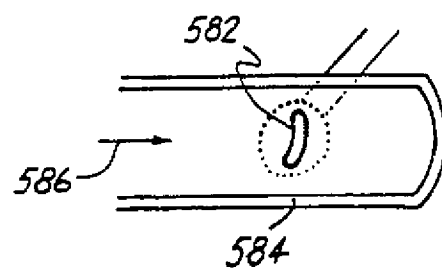


Fig. 7





*Fig. 8*



*Fig. 9*

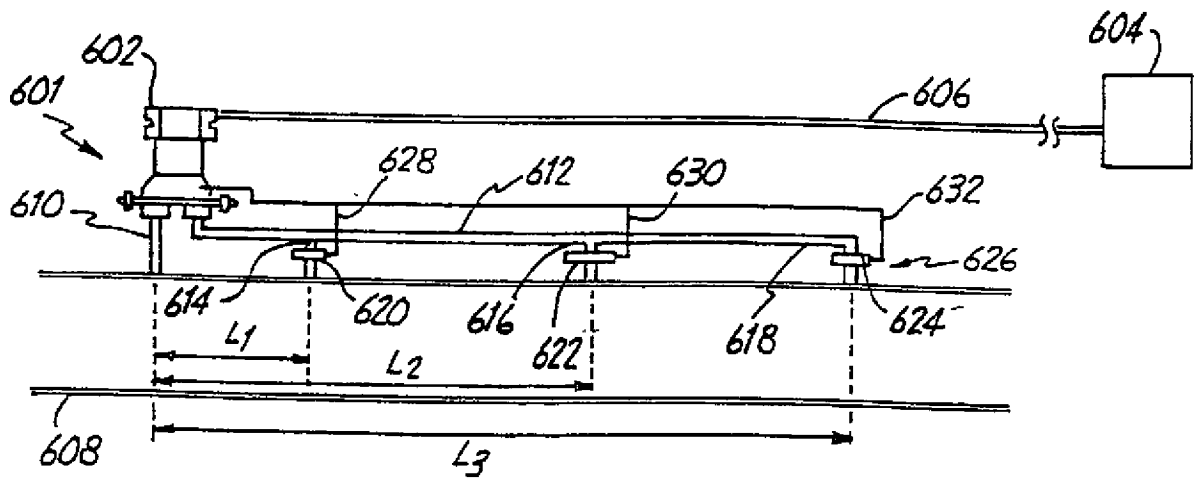


Fig. 10