



Republik
Österreich
Patentamt

(11) Nummer: **390 143 B**

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1408/82

(51) Int.Cl.⁵ : **G01F 1/74**
G01F 1/86

(22) Anmeldetag: 8. 4.1982

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 8.1989

(45) Ausgabetag: 26. 3.1990

(30) Priorität:

17. 7.1981 DD 231890 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:

DE-OS2812715

(73) Patentinhaber:

BRENNSTOFFINSTITUT FREIBERG
DD-9200 FREIBERG (DD).

(72) Erfinder:

KRETSCHMER HORST DIPL.ING.
FREIBERG (DD).
BEIERMANN NORBERT DIPL.PHYS.
BRAND-ERBISDORF (DD).
TIETZE GÜNTER DIPL.ING.
FREIBERG (DD).
SCHINGNITZ MANFRED DR.ING.
FREIBERG (DD).
GÖHLER PETER DR.ING.
FREIBERG (DD).

(54) MESSVERFAHREN ZUR ERMITTLUNG DES MASENSTROMES STAUBFÖRMIGER UND FEINKÖRNIGER STOFFE

(57) Die Erfindung betrifft ein Meßverfahren zur Ermittlung des Massenstromes beim Transport staubförmiger und feinkörniger Stoffe.

Erzielt werden soll ein kontinuierlich arbeitendes Massenstrommeßverfahren, das unabhängig von der Technologie der Staubzufuhr zum Förderrohr und bei allen Staubkonzentrationen sowie Systemdrücken, die technisch realisierbar sind, quantitativ richtige Meßwerte liefert.

Das erfindungsgemäße Verfahren umgeht die komplizierte Geschwindigkeitsmessung in Zweiphasenströmungen und besitzt innerhalb des Förderkanals keine strömungsbehindernden Meßfühler.

AT 390 143 B

Die Erfindung betrifft ein Meßverfahren zur Ermittlung des Massenstromes beim Transport staubförmiger und feinkörniger, in einem Trägergasstrom suspendierter Stoffe beliebiger Feststoffkonzentration sowie beliebiger Betriebsdrücke.

5 Bekannt sind Verfahren und Vorrichtungen zur Bestimmung des Massenstromes für staubförmige und feinkörnige Güter, die für Kohlenstäube nicht geeignet sind, d. h. die keine exakt quantitativen Meßwerte sondern nur qualitative Meßsignale liefern oder die nur für den pneumatischen Transport bei sehr kleinen Feststoffdichten ($\rho_{f2} < 30 \text{ kg/m}^3$) geeignet sind.

10 Die Meßverfahren nach den DD-PS 199 246 und DD-PS 145 958 liefern analoge Massenstromwerte, die nur für einen exakt definierten Dichtezustand und für eine bestimmte Staubqualität reproduzierbar sind und eine technisch ausreichende Genauigkeit besitzen. Diese Verfahren erfordern ein Eichen der Meßverfahren bei Staubqualitätsänderungen. Die lichtoptischen Meßverfahren nach DD-PS 142 606 sind trotz der Vielfalt an gleichzeitiger Meßwertgewinnung wegen der fehlenden Lichttransparenz und -reflexion der Kohlestäube bei dichten Zweiphasenströmungen nicht geeignet. Die Meßverfahren nach den DE-OS 2 554 565, DE-OS 2 902 911 und DE-OS 2 757 032 berücksichtigen nicht den wahren Zustand des in die Meßstrecke strömenden Staub-Gas-Gemisches, so daß diese Meßverfahren nur angenäherte Meßwerte liefern können und für hohe Feststoffbeladungen ($\rho_{f2} \geq 50 \text{ kg/m}^3$) nicht mehr anwendbar sind.

Das Ziel der Erfindung ist ein kontinuierlich arbeitendes Massenstrommeßverfahren, das unabhängig von der Technologie der Staubzufuhr zum Förderrohr und bei allen Staubkonzentrationen sowie Systemdrücken, die technisch realisierbar sind, quantitativ richtige Meßwerte liefert.

20 Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Meßverfahren anzubieten, das die komplizierte Geschwindigkeitsmessung in Zweiphasenströmungen umgeht und keine strömungsbehindernden Meßfühler innerhalb des Förderkanals besitzt, zur Sicherung der Förderstetigkeit und -kontinuität sollen keine Förderrohrverengungen oder -erweiterungen vorhanden sein und das Meßverfahren muß ohne Eichung der Meßstrecke und unabhängig von der Staubart arbeiten.

25 Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß zur Ermittlung des zur Prozeßsteuerung wichtigen Staubmassenstromes \dot{m}_k innerhalb des Förderrohres zur Herabsetzung der Fließdichte von ρ_{f1} auf ρ_{f2} stoßfrei und diffusionsartig über einen Mischapparat Injektionsgas in das Förderrohr eingeleitet wird und daß die Fließdichte ρ_{f1} , der Systemdruck p_1 und die Temperatur T_1 nach dem Bunker bzw. Dosiergefäß, jedoch vor dem Mischapparat sowie die Fließdichte ρ_{f2} , der Systemdruck p_2 und die Temperatur T_2 nach dem Mischapparat gemessen und gemeinsam mit dem Meßwert des Injektionsgasstromes $\dot{V}_{G(N)}$ und den Festwerten der Feststoffkorndichte ρ_k und der Gasnormdichte $\rho_{G(N)}$ einem Prozeßrechner eingegeben werden, der den Staubmassenstrom \dot{m}_k nach den gefundenen Berechnungsformeln im Anspruch 1 berechnet. Zur Durchführung wird ausgangs eines Bunkers oder eines Dosiergefäßes zur Bestimmung der Anfangsdichte ρ_{f1} eines Staubstromes, die je nach technologischer Notwendigkeit und Fließeigenschaft des Gutes unterschiedlich sein wird, eine Dichtemeßsonde für ρ_{f1} angeordnet. Nach dieser Dichtemeßsonde wird dem Feststoffstrom über einen speziellen Mischapparat ein Gas zur Verringerung der Staubstromdichte ρ_{f2} stoßfrei zugegeben. Diese abgesenkte Dichte ρ_{f2} und der Strom des injizierten Gases $\dot{V}_{G(N)}$ (bezogen auf den Normzustand) werden ebenfalls mit einer Dichtemeßsonde ρ_{f2} bzw. mit einer Meßblende gemessen. Der stoßfrei arbeitende Mischapparat besitzt den gleichen, freien Strömungsquerschnitt wie das Förderrohr und enthält ein poröses, gasdurchlässiges, staubsperrendes Filterrohr.

40 Weiter werden die Staubstromtemperaturen T_1, T_2 und die Drücke p_1, p_2 in der Förderleitung vor resp. nach dem Mischapparat gemessen. Es läßt sich die Massenbilanzgleichung

$$45 \quad \dot{m}_k + \dot{m}_{G1} + \dot{V}_{G(N)} \rho_{G(N)} = \dot{m}_k + \dot{m}_{G2} \quad (1)$$

aufstellen, in der \dot{m}_k der zu messende Feststoffmassenstrom, \dot{m}_{G1} und \dot{m}_{G2} die als Gasmassenstrom ausgedrückten Gasmengen im Förderrohr vor bzw. nach dem Mischapparat sind. \dot{m}_{G1} und \dot{m}_{G2} sind zunächst unbekannt, sie lassen sich jedoch durch die Größen \dot{m}_k, ρ_{f1} , sowie durch die Gasdichte ρ_{G1} und die bekannte Staubkorndichte ρ_k bzw. durch die Größen $\dot{m}_k, \rho_{f2}, \rho_{G2}$ und ρ_k ausdrücken:

$$50 \quad \dot{m}_{G1} = \dot{m}_k \frac{(\rho_k - \rho_{f1})}{(\rho_{f1} - \rho_{G1})} \cdot \frac{\rho_{G1}}{\rho_k}$$

55

$$\dot{m}_{G2} = \dot{m}_k \frac{(\rho_k - \rho_{f2}) \cdot \rho_{G2}}{(\rho_{f2} - \rho_{G2}) \cdot \rho_k}$$

5 Durch Einsetzen in Gleichung (1) sowie durch Einführung der Meßwerte T_1 , T_2 , p_1 und p_2 sowie der bekannten oder gemessenen Gasnormdichte $\rho_{G(N)}$, also der Gasdichte in dem durch die Normtemperatur T_N und den Normdruck p_N gekennzeichneten Zustand, ergibt sich das folgende Gleichungssystem:

$$10 \quad \dot{m}_k = \dot{V}_{G(2)} \cdot \frac{\rho_k (\rho_{f1} - \rho_{G1}) \cdot (\rho_{f2} - \rho_{G2})}{(\rho_k - \rho_{G1}) (\rho_{f1} - \rho_{f2})} \left[1 + \left(\frac{p_1}{p_2} - 1 \right) \left(\frac{\rho_k - \rho_{f1}}{\rho_k - \rho_{G1}} \right) \right]^{-1} \quad (2)$$

$$15 \quad \rho_{G1} = \rho_{G(N)} \cdot \frac{p_1}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_1} \quad (2.1)$$

$$20 \quad \rho_{G2} = \rho_{G(N)} \cdot \frac{p_2}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_2} \quad (2.2)$$

$$25 \quad \dot{V}_{G(2)} = \dot{V}_{G(N)} \cdot \frac{T_2}{T_N} \cdot \frac{p_N}{p_2} \quad (2.3)$$

30 Bei hohen Systemdrücken und höherer Feststoffkonzentration wird praktisch $p_1 = p_2$, $T_1 = T_2$ und $\rho_{G1} = \rho_{G2}$. Das ist dadurch bedingt, daß die Wärmekapazität des Feststoffanteils die Wärmekapazität des Gasanteils im geförderteten Staub-Gasgemisch um ein Vielfaches übersteigt und daß der Druckabfall im Mischapparat im Vergleich zum absoluten Druck an dieser Stelle völlig vernachlässigt werden kann. Unter diesen Bedingungen gilt das vereinfachte Gleichungssystem:

$$35 \quad \dot{m}_k = \dot{V}_{G(2)} \cdot \frac{\rho_k (\rho_{f1} - \rho_{G2}) (\rho_{f2} - \rho_{G2})}{(\rho_k - \rho_{G2}) (\rho_{f1} - \rho_{f2})} \quad (3)$$

$$40 \quad G2 = \rho_{G(N)} \cdot \frac{p_2}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_2} \quad (3.1)$$

$$45 \quad \dot{V}_{G(2)} = \dot{V}_{G(N)} \cdot \frac{p_N}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_N} \quad (3.2)$$

50 Die Gleichungen werden mittels eines Mikroprozessors während des Betriebsregimes kontinuierlich nach Eingabe der Meßgrößen (T , p , $\dot{V}_{G(N)}$, ρ_{f1} , ρ_{f2}) und Festwerte (ρ_k , $\rho_{G(N)}$) ausgewertet.

Zur Erzielung einer hohen Meßgenauigkeit des Massenstromes \dot{m}_k muß die Injektionsgasmenge $\dot{V}_{G(N)}$, die von der Höhe des Systemdruckes p und des Massenstromes abhängt, so gewählt werden, daß damit bis zu ρ_{f2} -Werten von $\rho_{f2} = 0,6$, ρ_s (ρ_s ... Schüttdichte) ein Dichtesprung von

$\rho_{f1} - \rho_{f2} = 100 \text{ kg/m}^3$ erzielt wird.

Die Erfindung sei an zwei Ausführungsbeispielen gemäß den Fig. 1 und 2 erläutert. Fig. 1 zeigt ein vereinfachtes Blockschema der Massenstrommessung aus einem Dosiergefäß bei erhöhtem Systemdruck. Fig. 2 zeigt ein vereinfachtes Blockschema der Massenstrommessung aus einem Bunker.

Ausführungsbeispiel 1

Bei der Ausführung des Verfahrens nach Fig. 1 wird bei einem Betriebsdruck $p_1 = 3.0 \text{ MPa}$ aus einem Dosiergefäß (1) Kohlenstaub einer Korndichte $\rho_K = 1400 \text{ kg/m}^3$ pneumatisch mittels Stickstoff der Normdichte $\rho_{G(N)} = 1,25 \text{ kg/m}^3$ über die Rohrleitung (3) gefördert. Zwecks Ermittlung des Massenstromes \dot{m}_K werden in einem in der Rohrleitung (3) befindlichen Mischapparat (5) Injektionsgas (4) in Höhe von $\dot{V}_{G(N)} = 250 \text{ m}^3 \text{ i.N./h}$ dem Staubstrom zugeführt und die Fließdichten vor und nach dem Mischapparat (5) radiometrisch mit einer Größe von $\rho_{f1} = 380 \text{ kg/m}^3$ und $\rho_{f2} = 280 \text{ kg/m}^3$ gemessen. Die Temperatur vor und nach dem Mischapparat sei annähernd gleich und beträgt $T_1, T_2 = 353 \text{ K}$. Aus den angegebenen Gleichungen (2), (2.1), (2.2), (2.3) folgt damit aus dem Prozeßrechner (6) ein Massenstrom von 10 t/h. Die Länge des porösen Rohrstückes des Mischapparates beträgt bei einer lichten Rohrweite von 40 mm und bei einer Durchströmgeschwindigkeit von 5 cm/s ca. $l = 500 \text{ mm}$.

Ausführungsbeispiel 2

Bei der Ausführung des Verfahrens nach Fig. 2 wird bei einem Überdruck von $p_1 = 0,15 \text{ MPa}$ aus einem Bunker (7) Kohlenstaub einer Korndichte $\rho_K = 1400 \text{ kg/m}^3$ und einer Anfangsfließdichte $\rho'_{f1} = 470 \text{ kg/m}^3$ pneumatisch mittels Luft mit einer Gasnormdichte $\rho_{G(N)} = 1,293 \text{ kg/m}^3$ in eine Rohrleitung (3) gefördert. Unmittelbar nach dem Bunkerauslauf wird dem Staubstrom über den Mischapparat (5) Injektionsgas (4) mit $\dot{V}_{G(N)} = 29 \text{ m}^3 \text{ i.N./h}$ zugegeben, so daß sich die Fließdichte ρ_{f2} auf 280 kg/m^3 verringert und der Druck an der Meßstelle nach dem Mischapparat $p_2 = 0,10 \text{ MPa}$ beträgt. Die Temperatur vor und nach dem Mischapparat ist gleich und beträgt $T_1 \approx T_2 \approx 313 \text{ K}$.

Mittels des Prozeßrechners (6) folgt damit unter Auswertung der Gleichungen (2), (2.1), (2.2), (2.3) ein Massenstrom von $\dot{m}_K = 10 \text{ t/h}$. Die Länge des porösen Rohrstückes des Mischapparates (5) beträgt unter Voraussetzung einer lichten Rohrweite von 40 mm und einer Durchströmgeschwindigkeit von 5 cm/s $l \approx 750 \text{ mm}$.

PATENTANSPRÜCHE

1. Meßverfahren zur Ermittlung des Massenstromes beim Transport staubförmiger und feinkörniger, in einem Trägergasstrom suspendierter Stoffe beliebiger Feststoffkonzentration sowie beliebiger Betriebsdrücke, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Ermittlung des zur Prozeßsteuerung wichtigen Staubmassenstromes \dot{m}_K innerhalb des Förderrohres (3) zur Herabsetzung der Fließdichte von ρ_{f1} auf ρ_{f2} stoßfrei und diffusionsartig über einen Mischapparat (5) Injektionsgas (4) in das Förderrohr (3) eingeleitet wird und daß die Fließdichte ρ_{f1} , der Systemdruck p_1 und die Temperatur T_1 nach dem Bunker (7) bzw. Dosiergefäß (1), jedoch vor dem Mischapparat (5) sowie die Fließdichte ρ_{f2} , der Systemdruck p_2 und die Temperatur T_2 nach dem Mischapparat (5) gemessen und gemeinsam mit dem Meßwert des Injektionsgasstromes $\dot{V}_{G(N)}$ (4) und den Festwerten der Feststoffkorndichte ρ_K und der Gasnormdichte $\rho_{G(N)}$ einem Prozeßrechner (6) eingegeben werden, der den Staubmassenstrom \dot{m}_K nach den gefundenen Berechnungsformeln (2), (2.1), (2.2), (2.3) berechnet

$$\dot{m}_K = \dot{V}_{G(2)} \cdot \frac{\rho_K (\rho_{f1} - \rho_{f2}) (\rho_{G(1)} - \rho_{G(2)})}{(\rho_K - \rho_{G(1)}) (\rho_{f1} - \rho_{f2})} \left[1 + \left(\frac{p_1}{p_2} - 1 \right) \left(\frac{\rho_K - \rho_{f1}}{\rho_K - \rho_{G(1)}} \right) \right]^{-1} \quad (2)$$

5
$$\rho_{G1} = \rho_{G(N)} \cdot \frac{p_1}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_1} \quad (2.1)$$

10
$$\rho_{G2} = \rho_{G(N)} \cdot \frac{p_2}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_2} \quad (2.2)$$

15
$$V_{G(2)} = V_{G(N)} \cdot \frac{T_2}{T_N} \cdot \frac{p_N}{p_2} \quad (2.3)$$

wobei
 m_k den Staubmassenstrom
 ρ_{f1} die Anfangsfeststoffdichte und ρ_{G1} die Gasstromdichte vor dem Mischapparat (5) bei Systemdruck p_1 und Temperatur T_1 ,
 ρ_{f2} die abgesenkte Feststoffdichte und ρ_{G2} die Gasstromdichte nach dem Mischapparat (5) bei Systemdruck und Temperatur T_2 ,
 ρ_k die Feststoffkorndichte und $\rho_{G(N)}$ die Gasnormdichte bei Normdruck p_N und Normtemperatur T_N ,
 $V_{G(N)}$ der Injektionsgasstrom bezogen auf den Normzustand und
 $V_{G(2)}$ der Injektionsgasstrom bezogen auf den Systemzustand nach dem Mischapparat (5) ist.

25 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der Förderung aus einem fluidisierenden (2) Dosiergefäß (1) mit mehreren, parallelen Förderrohren (3) die Dichte ρ_{f1} nur in einem Förderrohr (3) gemessen und dieser Meßwert für alle anderen Förderrohre als ρ_{f1} für die Staubmassenstromermittlung eingesetzt wird.

30 3. Verfahren nach Anspruch 1, insbesondere für Dichtstromförderung ($\rho_{f2} > 160 \text{ kg/m}^3$) und/oder höhere Betriebsdrücke ($p_2 > 0,6 \text{ MPa}$), wobei der Temperaturunterschied zwischen T_1 und T_2 sowie der Entspannungseffekt p_1 zu p_2 vernachlässigbar sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Berechnungsgleichungen (3), (3.1), (3.2)

35
$$m_k = V_{G(2)} \cdot \frac{\rho_k (\rho_{f1} - \rho_{G2}) (\rho_{f2} - \rho_{G2})}{(\rho_k - \rho_{G2}) (\rho_{f1} - \rho_{f2})} \quad (3)$$

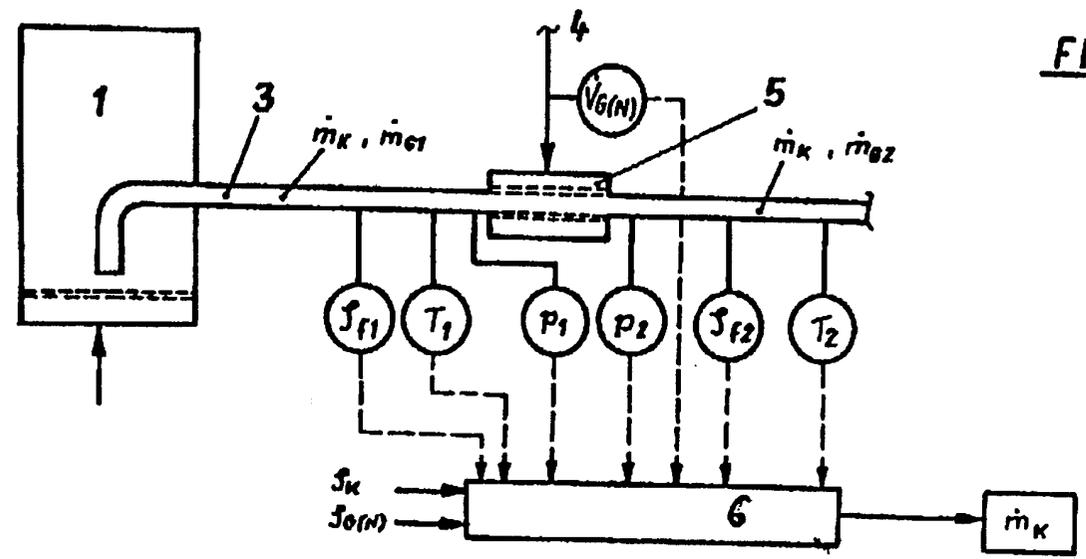
40
$$\rho_{G2} = \rho_{G(N)} \cdot \frac{p_2}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_2} \quad (3.1)$$

45
$$V_{G(2)} = V_{G(N)} \cdot \frac{p_N}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_N} \quad (3.2)$$

50 verwendet werden, wobei für den Systemdruck p_2 und die Temperatur T_2 die Meßwerte der Meßstellen nach dem Mischapparat in den Prozeßrechner (6) eingegeben werden.

Hiezu 1 Blatt Zeichnung

FIGUR 1



FIGUR 2

