



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 033 295 A1** 2009.01.29

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 033 295.7**

(22) Anmeldetag: **17.07.2007**

(43) Offenlegungstag: **29.01.2009**

(51) Int Cl.⁸: **G01F 1/66** (2006.01)

G01P 5/24 (2006.01)

G01F 1/74 (2006.01)

(71) Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

Baldauf, Manfred, Dr., 91056 Erlangen, DE;

Hartmann, Werner, Dr., 91085 Weisendorf, DE

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

DE 33 16 368 C2

DE 197 22 274 A1

DE 38 23 773 A1

US 53 69 998 A

US 48 82 934 A

US 47 26 235 A

US 45 42 644 A

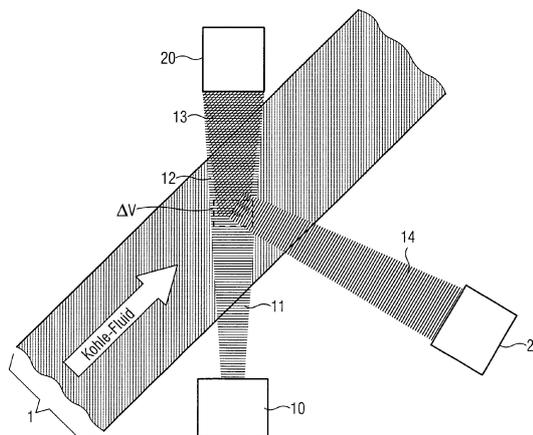
US 43 91 149 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Messung des Massestroms eines Aerosols, insbesondere eines Kohlestaub-Aerosols**

(57) Zusammenfassung: Insbesondere zur Kohlevergasung muss der Massestrom eines Kohlepartikelaerosols genau bestimmt werden. Dies erfolgt bisher mittels hochenergetischer und ionisierender Strahlung. Gemäß der Erfindung wird eine Ultraschallquelle verwendet, wobei die Dichte des Fluids durch die Änderung der akustischen Eigenschaften bestimmt wird und die Geschwindigkeit sich aus der Doppler-Verschiebung ergibt und aus deren Produkt der Massestrom ermittelt wird. Dazu ist bei der zugehörigen Vorrichtung ein Ultraschallsender (10) und wenigstens ein Ultraschallempfänger (20, 20') vorhanden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Messung des Massestroms eines Aerosols, insbesondere Kohlestaub-Aerosols, bei dem Partikel in einem Trägergas transportiert werden und aus dem Trägergas mit den Partikeln ein Fluid erzeugt wird, wobei mittels eines Senders das Fluid mit einem Signal beaufschlagt und dessen Antwortsignal erfasst wird. Daneben bezieht sich die Erfindung auch auf die zugehörige Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Beispielsweise wird in Brennstoffvergasern aus festen oder flüssigen Brennstoffen durch partielle Oxidation des kohlenstoffbasierten Primärbrennstoffes mit Sauerstoff ein Synthesegas, d. h. eine Mischung aus CO und H₂, erzeugt. Dabei gewinnt heute sowohl der Einsatz von Steinkohle als auch von Braunkohle und von Biomasse als Primärbrennstoff sehr stark an Bedeutung.

[0003] Zwecks Einsatzes von Kohle als Primärbrennstoff wird zunächst die Kohle gemahlen, bis eine Körnung erreicht wird, die einen Weitertransport der Kohlepartikel in einem Trägergas, beispielsweise Stickstoff (N₂) oder Kohlendioxid (CO₂), erlaubt. Zur Erzeugung eines Fluids mit diesen Komponenten und Kohlestaub wird zunächst die gemahlene Kohle in einen Behälter gefördert, der einen Boden aus feinporiger Keramik enthält. Durch diesen Boden wird das Trägergas eingeleitet, wobei das Trägergas durch die Poren in eine Vielzahl von feinen Gasströmen aufgespaltet wird. Durch die Eindüsung des Trägergases wird der Kohlestaub entsprechend einem Fließbettreaktor fluidisiert. Durch ein Entnahmerohr wird das Kohlestaubfluid aus dem Behälter ab- und einem Brenner zugeführt, der in den Vergasungsreaktor eingebaut ist.

[0004] Beim Transport des Kohlestaubs ergibt sich das Problem, dass der Massestrom des geförderten Kohlestaubs und dessen Dichte unter den in den Leitungen herrschenden Bedingungen, d. h. bei hohem Druck und abrasivem Teilchenstrom, nicht zuverlässig gemessen werden kann. Die Messung des Massestromes ist aber für den Betrieb der Vergasungsanlage unbedingt erforderlich, da davon nicht nur die Temperatur im Reaktor und die produzierte Menge an Synthesegas abhängt, sondern auch der für die Vergasung notwendige Sauerstoffmassenstrom und der zugehörige Wasserdampfbedarf. Der Wasserdampf wird bei Förderung mit Stickstoff (N₂) als Moderator benötigt, um die Temperatur im Reaktor zu begrenzen. Durch den Wasserdampf wird in einer endothermen Reaktion Kohle (C) zu Wasserstoff (H₂) und Kohlenmonoxid (CO) umgesetzt, die einen Teil der Reaktionswärme aus der exothermen Umsetzung zwischen Kohle und Sauerstoff (O₂) verbraucht. Wird Kohlenstoff (CO₂) als Fördergas verwendet, wird kein

Dampf benötigt, da Kohlendioxid (CO₂) selbst mit Kohlenstoff in einer endothermen Reaktion zu Kohlenmonoxid (CO) reagiert.

[0005] Der Massenstrom eines Fluides kann beispielsweise durch einen Gammastrahler bestimmt werden, der elektromagnetische Strahlung mit vorgegebener Intensität einstrahlt. Dabei wird durch die Schwächung der Strahlungsintensität die Dichte des Fluides bestimmt, aus der in Verbindung mit der Strömungsgeschwindigkeit der Massenstrom bestimmbar ist. Allerdings ergeben sich aber dabei erhebliche Probleme bezüglich einer Strahlungsabschirmung des Gammastrahlers bei dessen Handhabung und im laufenden Betrieb.

[0006] Da für eine hinreichende Messgenauigkeit ein Strahler hoher Intensität benötigt wird, ergeben sich besondere Anforderungen an die Strahlungsabschirmung und die Sicherheitsmaßnahmen bei der Handhabung des Strahlers und Wartung der Anlage, so dass sie für einen praktischen Einsatz als ungeeignet erscheint.

[0007] Weiterhin wird in der Literatur ein so genannter Coriolis-Sensor vorgeschlagen, bei dem Corioliskräfte zur Bestimmung von Massenströmen eingesetzt werden. Schließlich wird auch in der Literatur bereits schon erwähnt, dass mit Ultraschallsensoren die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt werden kann. Dabei wird der bekannte Effekt einer Doppler-Frequenz-Verschiebung ausgenutzt.

[0008] Von letzterem Stand der Technik ausgehend ist es Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren vorzuschlagen, das für die Praxis geeignet erscheint. Dazu soll eine zugehörige Vorrichtung geschaffen werden.

[0009] Die Aufgabe ist erfindungsgemäß bezüglich des Verfahrens durch die Maßnahmen des Patentanspruches 1 gelöst. Eine zugehörige Vorrichtung ist Gegenstand des Patentanspruches 11. Weiterbildungen des Verfahrens und der zugehörigen Vorrichtung ergeben sich aus den jeweils abhängigen Ansprüchen.

[0010] Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren der eingangs genannten Art, mit folgenden Maßnahmen:

- als Sender wird eine Ultraschallquelle verwendet, wobei
- die Dichte des Fluids durch die Änderung der akustischen Eigenschaften des Schallstrahls, insbesondere der Dämpfung und Frequenzspektrum des Ultraschalls im Fluid, und
- gleichzeitig die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids aus der Verschiebung der Ultraschallfrequenz (Doppler-Verschiebung) bestimmt werden und wobei

– die Massestromdichte durch Multiplikation der Größen Dichte und Strömungsgeschwindigkeit ermittelt wird.

[0011] Zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens weist die zugehörige Vorrichtung wenigstens einem Ultraschallsender und wenigstens einem Ultraschallempfänger auf. Die Erfindung ist vorzugsweise, aber nicht ausschließlich, bei Kohlestaub-Aerosolen im Rahmen einer umweltgerechten Kohlevergasung einsetzbar.

[0012] Bei der Erfindung wird zur Massestrombestimmung eine Ultraschallquelle eingesetzt, deren Schallstrahl das Kohlestaubfluid entweder durchstrahlt oder der in das Kohlestaubfluid eingestrahlt wird. Dabei wird die Dichte des Fluids durch die Änderung der akustischen Eigenschaften des Schallstrahls, insbesondere der Dämpfung des Ultraschalls im Fluid, bestimmt. Bei Durchstrahlung des Fluids ist eine reine Absorptionsmessung ausreichend, während bei seitlicher Einstrahlung und Messung in Reflexion der reflektierte Ultraschallanteil bezüglich der akustischen Eigenschaften analysiert wird. Aus den Eigenschaften der transmittierten bzw. reflektierten Ultraschallanteile lässt sich die Massenstromdichte direkt bestimmen. Gleichzeitig wird in beiden Fällen, insbesondere bei Ein- oder Durchstrahlung des Kohlestaubfluids unter einem von 90° bezüglich der Strömungsrichtung abweichenden Winkel, das Frequenzspektrum des reflektierten bzw. transmittierten Ultraschalls analysiert. Dabei ergibt sich in bekannter Weise der physikalische Effekt der Frequenzverschiebung, welche als Dopplerverschiebung bezeichnet wird. Die Dopplerverschiebung des speziell an den Kohleteilchen reflektierten Ultraschalls aber ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit.

[0013] Mit der Erfindung ergibt sich in vorteilhafter Weise, dass sich mit einer einzigen Messmethode sowohl die Massendichte direkt als auch die Strömungsgeschwindigkeit bestimmen lassen. Damit lassen sich Massenstromdichten von Kohleaerosolen erheblich genauer bestimmen. Vorteilhaft ist dabei weiterhin, dass gleichzeitig die Messung der Temperatur des Kohlestaubfluids erfolgen kann. Die Kenntnis der Temperatur ist aber für die Regelung der temperaturaktivierten Prozesse wesentlich.

[0014] Mit der Erfindung lässt sich in besonders vorteilhafter Weise erreichen, dass mittels des Ultraschallstrahles immer dieselben, örtlich definierten Volumenabschnitte zur Messung benutzt werden. Diese ist beim Stand der Technik mit integraler Messtechnik nicht möglich.

[0015] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung in Verbindung mit den Patentansprü-

chen.

[0016] Die einzige Figur zeigt eine Vorrichtung zur Bestimmung des Massestroms speziell eines Kohlepartikelaerosols. Ein Aerosol ist definiert als Dispersion von flüssigen oder festen Teilchen (= Partikel) in einem Gas, beispielsweise in Luft. Aerosolpartikel können beispielsweise Abmessungen von 100 Nanometer (0,0001 mm) haben.

[0017] In der Figur ist ein Kohleaerosolstrahl mit **1** bezeichnet. Ein solches Kohleaerosol lässt sich dadurch erreichen, dass Kohle bis zu einer geeigneten Körnung gemahlen wird und dass die so erzeugten Kohlepartikel von einem Trägergas aufgenommen werden. Als Trägergas kommen beispielsweise N_2 oder CO_2 in Frage. Zur Erzeugung des Kohleaerosols als Fluid wird die gemahlene Kohle in einen Behälter gefördert, der einen Boden aus feinporiger Keramik enthält. Durch diesen Boden wird das Trägergas eingeleitet, wobei das Trägergas durch die Poren in eine Vielzahl von feinen Gasströmen aufgespaltet wird. Durch Entnahmerohre wird das Kohlestaubfluid aus dem Behälter abgesaugt.

[0018] Letzteres Verfahren zur Erzeugung eines Kohlestaubaerosols ist vom Stand der Technik bekannt.

[0019] Zur Verwendung des Kohlestaubaerosols als Betriebsmittel für die Kohlevergasung ist die Kenntnis der Betriebsgröße „Massenstrom“ unbedingt erforderlich. Der Massestrom bestimmt weitgehend die Temperatur im Vergasungsreaktor und die produzierte Menge an Synthesegas. Er ist auch wesentlich für die Zuführung eines geeigneten Sauerstoffmassenstroms und den für die Wasserstoffbildung notwendigen Wasserdampfbedarf. Der Wasserdampf wird insbesondere bei Förderung mit Stickstoff (N_2) als Moderator benötigt, um die Temperatur im Reaktor zu begrenzen. Dabei wird in einer endothermen Reaktion von Kohlenstoff (C) mit Wasserdampf (H_2O), die einen Teil der Reaktionswärme aus der exothermen Umsetzung zwischen Kohlenstoff (C) und Sauerstoff (O_2) verbraucht, ein H_2/CO -Gemisch erzeugt. Wird dagegen Kohlendioxid (CO_2) als Fördergas verwendet, wird kein Dampf benötigt, da das Kohlendioxid CO_2 selbst mit Kohlenstoff (C) in einer endothermen Reaktion zu Kohlenmonoxid (CO) reagiert.

[0020] In der Figur ist mit **10** ein Ultraschallsender bezeichnet, der Ultraschall in einen vom abweichenden Winkel zur Strömungsrichtung Ultraschall als definierten Strahl in das Kohleaerosol einstrahlt. Es ergeben sich zumindest ein eingestrahelter Ultraschallstrahl **11** und ein transmittierter Ultraschallstrahl **12**, der von einem Ultraschallempfänger **20** auf der Gegenseite des Kohlenstoffaerosols **1** erfasst werden kann. Weiterhin wird am Kohlestaubaerosol Ultraschall gestreut, so dass sich ein gedämpfter und hin-

sichtlich seiner Frequenz Doppler-verschobener Strahl **13** ergibt, der ebenfalls vom Ultraschallempfänger **20** erfasst wird. Schließlich wird auch ein Teil des Ultraschalls nach der Streuung reflektiert, wobei sich ein ebenfalls gedämpfter und frequenzmäßig Doppler-verschobener Strahl **14** ergibt.

[0021] Zur Erfassung letzteren rückgestreuten Strahles **14**, der gedämpft und hinsichtlich seiner Frequenz ebenfalls Doppler-verschoben ist, ist ein weiterer Ultraschallempfänger **20'** diesseits des Kohlestoffaerosolsstrahls vorhanden.

[0022] Mit der anhand der Figur beschriebenen Vorrichtung lässt sich die Dichte des Kohlenstoffaerosols im Strahl **1** problemlos direkt bestimmen. Weiterhin kann durch Analyse der Frequenzeigenschaften eine Frequenzverschiebung und daraus entsprechend dem Doppler-Gesetz die Geschwindigkeit des Kohleaerosols ermittelt werden. Aus der Dichte ergibt sich durch Multiplikation mit der Geschwindigkeit der Massestrom.

[0023] Wesentlich ist, dass die Größen „Geschwindigkeit“ und „Massestrom“ nebeneinander und insbesondere zeitgleich bestimmt werden können. Damit ist die wesentliche Betriebsgröße „Massenstrom“ für den Einsatz in einer Kohlevergasungsanlage in einfacher Weise bestimmbar.

[0024] Das anhand der Figur beschriebene Verfahren erlaubt also eine erheblich genauere Bestimmung des Massenstroms als beim Stand der Technik. Vorteilhafterweise ist diese Methode selbst und der Betrieb einer industriellen Kohlevergasungsanlage mit dieser Messmethode gefahrlos, so dass sie sich in der Industriepraxis anbietet. Gegenüber den Methoden mit ionisierender Strahlung ist keine Strahlungsabschirmung notwendig. Davon abgesehen ist das beschriebene Verfahren kostengünstig und es ergibt sich eine einfache Adaptierbarkeit bezüglich der zu messenden Massenstromdichte und Zusammensetzung über die Intensität, Frequenz, Bündelungsgrad und Einstrahlungsrichtung des Ultraschalls.

[0025] Bei einer anhand der Figur beschriebenen Vorrichtung kann zusätzlich eine räumliche Filterung des zu analysierenden transmittierten oder reflektierten Schallstrahls über eine akustische Linse vorgesehen sein. Dies kann auch mittels eines fokussierenden akustischen Reflektors stattfinden. In beiden Fällen erreicht man, dass nur vorbestimmte Volumenelemente auf den Ultraschallempfänger abgebildet und/oder mit hoher Intensität beschallt werden

[0026] Eine räumliche Abbildung des vom Sender **10** emittierten Schallstrahls kann beispielsweise über eine akustische Linse oder einen fokussierenden akustischen Reflektor erfolgen. Solche Elemente

können dem analysierenden Fluidstrom zugeordnet werden und bewirken insbesondere, dass das vorbestimmte Volumenelement ΔV mit hoher Intensität beschallt wird. Dabei ist es vorteilhaft, wenn sowohl sender- als auch empfängerseitig die räumliche Abbildung auf das gleiche Volumenelement ΔV erfolgt.

[0027] Die Erfindung wurde vorstehend speziell für die Erfassung des Massestroms bei Kohlestaubaerosolen beschrieben. Auch bei Aerosolen mit anderen Partikeln fester und/oder flüssiger Konsistenz können in entsprechender Weise Masseströme bestimmt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung des Massestroms eines Aerosols, insbesondere eines Kohlestaub-Aerosols, bei dem Partikel in einem Trägergas transportiert werden und ein Fluid aus dem Trägergas und den Partikeln erzeugt wird, wobei mittels eines Senders das Fluid mit einem Signal beaufschlagt und dessen Antwortsignal mit einem Sensor erfasst wird, mit folgenden Maßnahmen:

- als Sender wird eine Ultraschallquelle verwendet, wobei
- die Dichte des Fluids durch die Änderung der akustischen Eigenschaften des Schallstrahls, insbesondere der Dämpfung und Frequenzspektrum des Ultraschalls im Fluid, und
- gleichzeitig die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids aus der Verschiebung der Ultraschallfrequenz (Doppler-Verschiebung) bestimmt werden und wobei
- die Massestromdichte durch Multiplikation der Größen Dichte und Strömungsgeschwindigkeit ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Durchstrahlung des Fluids erfolgt und die Abschwächung und das Frequenzspektrum des transmittierten Ultraschalls analysiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in das Fluid in einem von 90° zur Strömungsrichtung abweichenden Winkel eingestrahlt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass Abschwächung und Frequenzspektrum des reflektierten Ultraschalls analysiert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyse des Frequenzspektrums des reflektierten Ultraschalls in der von 90° abweichenden Richtung der Strömungsrichtung des Aerosols erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem

Frequenzspektrum eine Verschiebung der Empfangsfrequenz gegenüber der Sendefrequenz ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit der Kohlepartikel die Dopplerverschiebung des an Kohleteilchen reflektierten Ultraschalls gemessen wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Berechnung der Massenstromdichten insbesondere bei Berücksichtigung der Temperatur des Kohlenstaubfluids erfolgt.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Massstrom des Kohlenstoffaerosols durch den Kohlestaubanteil im Aerosol bestimmt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Ultraschallmessung eine räumliche Filterung des zu analysierenden transmittierten oder reflektierten erfolgt, um vorbestimmte Volumenelemente auf den Ultraschallempfänger abzubilden und/oder mit hoher Intensität zu beschallen.

11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche 2 bis 10, mit wenigstens einem Ultraschallsender (**10**) und wenigstens einem Ultraschallempfänger (**20, 20'**).

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Ultraschallempfänger (**20, 20'**) in Durchstrahlungsrichtung des Kohlefluids liegt.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Ultraschallempfänger (**20'**) in einer von der Durchstrahlungsrichtung abweichenden Position angeordnet ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei Ultraschallempfänger (**20, 20'**) vorhanden sind, von denen einer in Transmissionsrichtung und der andere in Reflexionsrichtung angeordnet ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, gekennzeichnet durch einen kombinierten Ultraschall-Sender-/Empfänger.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass zur räumliche Filterung des zu analysierenden transmittierten oder reflektierten Schallstrahls dergestalt, dass nur ein vorbestimmtes Volumenelement (ΔV) auf den Ultraschallempfänger abgebildet wird, eine akustische Linse oder einen fokussierenden akustischen Reflektor

vorhanden ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass zur räumlichen Abbildung des vom Sender emittierten Schallstrahls dergestalt, dass nur ein vorbestimmtes Volumenelement (ΔV) mit hoher Intensität beschallt wird, eine akustische Linse oder einen fokussierenden akustischen Reflektor vorhanden ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass von der akustischen Linse und/oder dem fokussierenden akustischen Reflektor sowohl sender- als auch empfangenseitig die räumliche Abbildung auf das gleiche Volumenelement (ΔV) erfolgt.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

