



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 60 740 B4** 2004.12.30

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 60 740.0**
(22) Anmeldetag: **23.12.2002**
(43) Offenlegungstag: **08.07.2004**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **30.12.2004**

(51) Int Cl.⁷: **B01D 53/83**
B01D 53/12, B01J 2/16, B01J 8/24

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

(71) Patentinhaber:
Outokumpu Oyj, Espoo, FI

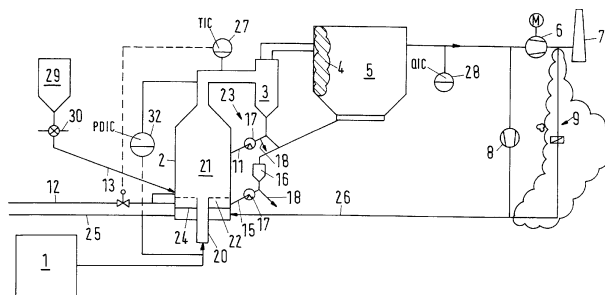
(74) Vertreter:
**Keil & Schaaflhausen Patentanwälte, 60322
Frankfurt**

(72) Erfinder:
Ströder, Michael, Dr., 61267 Neu-Anspach, DE;
Sneyd, Stuart, 60318 Frankfurt, DE; Hasselwander,
Klaus, 61440 Oberursel, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 42 06 602 C2
DE 198 41 513 A1
US 63 68 389 B1

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Anlage zur Entfernung von gasförmigen Schadstoffen aus Abgasen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Entfernung von gasförmigen Schadstoffen aus Abgasen, bei dem die gasförmigen Schadstoffe mit einem feinkörnigen Reaktionsmittel unter Bildung von Feststoffen in einem Reaktor (2) mit Wirbelschicht reagieren, dadurch gekennzeichnet, dass das Abgas von unten durch ein Gaszufuhrrohr (20) in eine Wirbelmischkammer (21) des Reaktors (2) eingeführt wird, wobei das Gaszufuhrrohr (20) wenigstens teilweise von einer durch Zufuhr von Fluidisierungsgas fluidisierten, stationären Ringwirbelschicht (22) aus Reaktionsmittel umgeben wird, und dass die Gasgeschwindigkeiten des Abgases sowie des Fluidisierungsgases für die Ringwirbelschicht (22) derart eingestellt werden, dass die Partikel-Froude-Zahlen in dem Gaszufuhrrohr (20) zwischen 1 und 100, in der Ringwirbelschicht (22) zwischen 0,02 und 2 sowie in der Wirbelmischkammer (21) zwischen 0,3 und 30 betragen.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Entfernung von gasförmigen Schadstoffen aus Abgasen, bei dem die gasförmigen Schadstoffe mit einem feinkörnigen Reaktionsmittel unter Bildung von Feststoffen in einem Reaktor mit Wirbelschicht reagieren, sowie eine entsprechende Anlage.

[0002] Derartige Verfahren und Anlagen werden u. a. zur Entfernung von sauren Gasen wie SO_2 , HF und HCL aus dem Rauchgasstrom von Verbrennungsanlagen, wie Kraftwerken, Verbrennungsanlagen für Müll und Sondermüll, oder eines anderen thermischen Produktionsprozesses, bspw. der Herstellung von Aluminium in Elektrolysezellen, eingesetzt. Dafür wurden eine Vielzahl verschiedener nasser, trockener und quasitrockener Verfahren entwickelt, bei denen die Entfernung der sauren Bestandteile durch Zugabe von alkalischen Reagenzien erfolgt. Bei trockenen Verfahren werden besonders Flugstrom- und Wirbelschichtverfahren, insbesondere mit einer zirkulierenden Venturiwirbelschicht, eingesetzt.

[0003] Zirkulierende Wirbelschichten weisen gegenüber stationären Wirbelschichten aufgrund des höheren Fluidisierungsgrades bessere Stoff- und Wärmeaustauschbedingungen auf und erlauben die Integration eines Suspensionswärmetauschers, sind jedoch hinsichtlich ihrer Feststoffverweilzeit beschränkt. Dies führt insbesondere bei schwankenden Abgasmengen zu einem problematischen Regelverhalten. Nachteilig sind außerdem ein hoher Druckverlust und in manchen Fällen eine schlechte Ausnutzung des Reaktionsmittels.

[0004] In der US 6,368,389 B1 wird ein Kühlreaktor mit einem Gaszufuhrrohr beschrieben, durch welches Abgas in den Kühlreaktor eingeblasen wird. Um das Gaszufuhrrohr herum ist auf einem Gasverteiler eine stationäre Wirbelschicht eines reaktiven körnigen Materials ausgebildet, welches durch mit Kühlfluid durchströmte Kühltaschen gekühlt wird. Dieses gekühlte körnige Material aus der stationären Wirbelschicht wird durch den durch das Gaszufuhrrohr in den Kühlreaktor eingeleiteten Gasstrom mitgerissen und verwirbelt mit dem expandierenden Gasstrom. Zur weiteren Abkühlung des Gasstroms kann dieser durch einen vor dem Reaktor in dem Gaszufuhrrohr angeordneten Wärmetauscher weiter gekühlt werden.

Beschreibung der Erfindung

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, bei der trockenen Abgasreinigung die Wärme- und Stoffaustauschbedingungen und den Umsatz des Reaktionsmittels zu verbessern.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, bei dem das Abgas von unten durch ein vorzugsweise zentral angeordnetes Gaszufuhrrohr (Zentralrohr) in eine Wirbelmischkammer des Reaktors eingeführt wird, wobei das Zentralrohr wenigstens teilweise von einer durch Zufuhr von Fluidisierungsgas fluidisierten, stationären Ringwirbelschicht aus Reaktionsmittel umgeben wird, und bei dem die Gasgeschwindigkeiten des Abgases sowie des Fluidisierungsgases für die Ringwirbelschicht derart eingestellt werden, dass die Partikel-Froude-Zahlen in dem Zentralrohr zwischen 1 und 100, in der Ringwirbelschicht zwischen 0,02 und 2 sowie in der Wirbelmischkammer zwischen 0,3 und 30 betragen.

[0007] Überraschenderweise lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bei der Abgasreinigung die Vorteile einer stationären Wirbelschicht, wie ausreichend lange Reaktionsmittelverweilzeit, und die einer zirkulären Wirbelschicht, wie guter Stoff- und Wärmeaustausch, unter Vermeidung der Nachteile beider Systeme miteinander verbinden. Beim Passieren des oberen Bereichs des Zentralrohrs reißt das Abgas Reaktionsmittel aus dem ringförmigen stationären Wirbelbett, welches als Ringwirbelschicht bezeichnet wird, bis in die Wirbelmischkammer mit, wobei sich aufgrund der hohen Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Reaktionsmittel und Abgas eine intensiv durchmischte Suspension bildet und optimale Reaktionsbedingungen zwischen den beiden Phasen erreicht werden. Durch entsprechende Einstellung des Füllstandes in der Ringwirbelschicht sowie der Gasgeschwindigkeiten des Abgases und des Fluidisierungsgases kann die Reaktionsmittelbeladung (Feststoffbeladung) der Suspension oberhalb des Mündungsbereiches des Zentralrohrs in weiten Bereichen variiert werden, so dass der Druckverlust des ersten Gases zwischen dem Mündungsbereich des Zentralrohrs und dem oberen Austritt der Wirbelmischkammer zwischen 1 mbar und 100 mbar liegen kann. Im Falle hoher Feststoffbeladungen der Suspension in der Wirbelmischkammer regnet ein Großteil der Reaktionsmittel und/oder der bei der Reaktion gebildeten Feststoffe aus der Suspension aus und fällt in die Ringwirbelschicht zurück. Diese Rückführung wird interne Feststoffrezirkulation genannt, wobei der in dieser internen Kreislaufströmung zirkulierende Feststoff-/Reaktionsmittelmassenstrom normalerweise bedeutend größer als die dem Reaktor von außen zugeführte Reaktionsmittelmenge ist. Der (geringere) Anteil an nicht ausfallendem Fest-

stoff bzw. Reaktionsmittel wird zusammen mit dem Abgas aus der Wirbelmischkammer ausgetragen. Die Verweilzeit des Feststoffs und des Reaktionsmittels in dem Reaktor kann durch die Wahl von Höhe und (Querschnitts-)Fläche der Ringwirbelschicht in weiten Grenzen verändert und der angestrebten Reaktion angepasst werden. Aufgrund der hohen Feststoffbeladung einerseits und der guten Reaktionsbedingungen andererseits ergeben sich oberhalb des Mündungsbereiches des Zentralrohrs hervorragende Bedingungen für einen nahezu stöchiometrischen Verbrauch des Reaktionsmittels. Der mit dem Gasstrom aus dem Reaktor ausgetragene Anteil an Feststoff und Reaktionsmittel wird dem Reaktor vollständig oder zumindest teilweise wieder zugeführt, wobei die Rückführung zweckmäßigerweise in die stationäre Wirbelschicht erfolgt. Abgesehen von der hervorragenden Energieausnutzung besteht ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens in dem Erreichen von sehr niedrigen Schadstoffkonzentrationen im Reingas bei nahe-stöchiometrischen Verbräuchen des Reaktionsmittels, wobei das Verfahren schnell, einfach und zuverlässig den Anforderungen angepasst werden kann.

[0008] Um einen besonders effektiven Stoffaustausch in der Wirbelmischkammer und eine ausreichende Verweilzeit in dem Reaktor sicherzustellen, werden die Gasgeschwindigkeiten des Abgases und des Fluidisierungsgases für das Wirbelbett vorzugsweise derart eingestellt, dass die dimensionslose Partikel-Froude-Zahlen (Fr_p) in dem Zentralrohr 20 bis 90, in der Ringwirbelschicht 0,2 bis 2 und/oder in der Wirbelmischkammer 3 bis 15 betragen. Dabei sind die Partikel-Froude-Zahlen jeweils nach der folgenden Gleichung definiert:

$$Fr_p = \frac{u}{\sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f} * d_p * g}}$$

mit

u = effektive Geschwindigkeit der Abgasströmung in m/s

ρ_s = Dichte eines Feststoffpartikels (Reaktionsmittel) in kg/m^3

ρ_f = effektive Dichte des Fluidisierungsgases in kg/m^3

d_p = mittlerer Durchmesser der beim Reaktorbetrieb vorliegenden Partikel des Reaktorinventars (bzw. der sich bildenden Teilchen) in m

g = Gravitationskonstante in m/s^2 .

[0009] Bei der Anwendung dieser Gleichung gilt zu berücksichtigen, dass d_p nicht den mittleren Durchmesser (d_{50}) des eingesetzten Materials bezeichnet, sondern den mittleren Durchmesser des sich während des Betriebs des Reaktors bildenden Reaktorinventars, welcher von dem mittleren Durchmesser des eingesetzten Materials (Primärteilchen) signifikant in beide Richtungen abweichen kann. Auch aus sehr feinkörnigem Material mit einem mittleren Durchmesser von bspw. 3 bis 10 μm können sich bspw. während der Wärmebehandlung Teilchen (Sekundärteilchen) mit einem mittleren Durchmesser von 20 bis 30 μm bilden. Andererseits zerfallen manche Primärteilchen während der Wärmebehandlung in dem Reaktor.

[0010] In Weiterbildung des Erfindungsgedankens wird vorgeschlagen, den Füllstand an Reaktionsmittel in dem Reaktor so einzustellen, dass sich die Ringwirbelschicht bspw. um einige Zentimeter über das obere Mündungsende des Zentralrohrs hinaus erstreckt und somit ständig Reaktionsmittel in das Abgas eingetragen und von dem Gasstrom zu der oberhalb des Mündungsbereiches des Zentralrohres befindlichen Wirbelmischkammer mitgeführt wird. Auf diese Weise wird eine besonders hohe Feststoff-/Reaktionsmittelbeladung der Suspension oberhalb des Mündungsbereiches des Zentralrohrs erreicht.

[0011] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann insbesondere Schwefeldioxid, Fluorwasserstoff und/oder Chlorwasserstoff enthaltendes Abgas gereinigt werden, wobei als Reaktionsmittel insbesondere Alumina, Natriumcarbonat und/oder Kalziumverbindungen, bspw. gelöschter oder gebrannter Kalk, zugeführt werden. Die Korngröße zumindest des größten Anteils des zugeführten Reaktionsmittels ist vorzugsweise kleiner als 100 μm .

[0012] Um klar definierte Reaktionsbedingungen zu erhalten, kann das Abgas gemäß einer weiteren Ausgestaltung des vorgeschlagenen Verfahrens vor der Zuführung in den Reaktor entstaubt werden.

[0013] Bei der Reaktion des Abgases mit dem zirkulierenden Reaktionsmittel gebildete Feststoffe und ggf. Reaktionsmittel werden gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren nach der Reaktion in dem Reaktor teilweise mit dem Abgasstrom aus dem Reaktor ausgeführt und mindestens einem Abscheider zugeführt. Der dort abgeschiedene Feststoff sowie das Reaktionsmittel werden entweder ganz oder teilweise in die Ringwirbel-

schicht und/oder Wirbelmischkammer des Reaktors rezirkuliert oder zu einem gewissen Anteil ausgeschleust. In dem Abscheider, der insbesondere einen Grobabscheider wie einen Zyklon oder Jalousieabscheider und einen nachgeschalteten Feinabscheider wie einen Elektro- oder Schlauchfilter aufweist, werden der mit dem durch das Zentralrohr führenden Gasstrom ausgetragene Feststoff (Reaktionsprodukt) und das mitgerissene Reaktionsmittel abgetrennt und über eine Feststoffrückföhrleitung zumindest teilweise wieder in die Ringwirbelschicht des Reaktors zuröckgeföhrt. Ein wesentlicher Vorteil dieser flexiblen Feststoffrückföhrung liegt darin, dass die Feststoff-/Reaktionsmittelbeladung der Suspension in dem Bereich der Wirbelmischkammer des Reaktors gezielt auf die Anforderungen des Prozesses eingestellt und sogar während des Betriebes je nach Bedarf geändert werden kann. Die rezirkulierte Feststoffmenge kann dabei erfindungsgemäß bis zu dem 10-fachen der frisch zugegebenen Reaktionsmittelmenge betragen.

[0014] Zur Einstellung der Rezirkulationsmenge hat es sich in Weiterbildung des Erfindungsgedankens bewährt, den Druckverlust über der Wirbelmischkammer zwischen dem Zentralrohr und der zum Abscheider föhrenden Austrittsleitung des Reaktors zu messen und in Abhängigkeit von diesem Differenzdruck die Rezirkulationsmenge durch Variation der zuröckgeföhrten Feststoff-/Reaktionsmittelmenge zu regeln. Dazu wird der Druckverlust mit einem Messgerät gemessen und einer Regelung mitgeteilt, die den Druckverlust durch Veränderung der zugeföhrten Rezirkulationsmenge auf einen vorgebbaren Sollwert einstellt. Als besonders vorteilhaft hat sich dafür ein fluidisierter Zwischenbehälter mit nachgeschaltetem Dosierorgan, bspw. einer drehzahlvariablen Zellenradschleuse oder einem Walzendrehschieber, erwiesen, wobei der nicht zur Rückföhrung benötigte Anteil an Feststoff oder Reaktionsmittel bspw. mittels eines Überlaufs ausgeschleust und einem anderen Prozess zur Weiterverwendung zugeföhrt werden kann. Die Rezirkulation trägt auf einfache Weise dazu bei, die Verfahrensbedingungen in dem Reaktor konstant zu halten und/oder die mittlere Verweildauer des Feststoffs/Reaktionsmittels in dem Reaktor zu verlängern.

[0015] Erfindungsgemäß erfolgt die Zuföhrung von Reaktionsmittel in Abhängigkeit von der Konzentration der Schadstoffe im gereinigten Abgas. Die Konzentration wird mit einem Messgerät bspw. in einer zum Abzugskamin föhrenden Abgasleitung gemessen und der ermittelte Messwert einer Regelung zugeföhrt, die dann automatisch die Reaktionsmittelzuföhr so regelt, dass die gewünschte Konzentration der Schadstoffe im gereinigten Abgas erreicht wird.

[0016] Als Gas zur Fluidisierung der Ringwirbelschicht wird dem Reaktor vorzugsweise Luft zugeföhrt, wobei für diesen Zweck selbstverständlich auch alle anderen dem Fachmann zu diesem Zweck bekannten Gase bzw. Gasgemische verwendet werden können. Es kann auch vorteilhaft sein, als Fluidisierungsgas gereinigtes Abgas zu verwenden oder beizumischen. Dadurch lässt sich der Gaseintrag in die Ringwirbelschicht und die Gasgeschwindigkeit erhöhen, was zu einer Erhöhung des Reaktionsmittelniveaus und daher einem verstärkten Eintrag von Reaktionsmittel in die Wirbelmischkammer föhrt, da mehr Reaktionsmittel von dem durch das Zentralrohr strömendem Abgas mitgerissen wird. Durch diese erhöhte spezifische Reaktionsmittelmenge lassen sich bspw. Schadstoffspitzen ausregeln oder verbesserte Reingaswerte erreichen. Die Rate des zuröckgeföhrten gereinigten Abgases kann erfindungsgemäß von der Schadstoffkonzentration im gereinigten Abgas abhängen und im Normalfall insbesondere zwischen 5 bis 10 % der dem Reaktor zugeföhrten Abgasmenge betragen.

[0017] Zur Einstellung einer optimalen Prozesstemperatur wird ferner vorgeschlagen, eine Wassereindösung in den Reaktor in Abhängigkeit von der Temperatur in dem Reaktor und/oder der Temperatur des aus dem Reaktor austretenden gereinigten Abgases vorzunehmen. Dadurch findet eine adiabatische Verdampfung statt, mit der die Temperatur im Reaktor einfach eingestellt werden kann. Die Wassereindösung kann sowohl in die als auch auf die Ringwirbelschicht erfolgen.

[0018] Um Schwankungen im Rohgasvolumen des dem Reaktor zugeföhrten, zu reinigenden Abgases auszugleichen, wird dem Abgas in dem Zentralrohr insbesondere in Abhängigkeit von dem Abgasvolumenstrom gereinigtes Abgas als Reingas beigemischt. Auf diese Weise können in dem Ringwirbelschichtreaktor stabile Reaktionsbedingungen geschaffen werden.

[0019] Eine erfindungsgemäße Anlage, welche insbesondere zur Durchföhrung des zuvor beschriebenen Verfahrens geeignet ist, weist die Merkmale des Anspruchs 16 auf. Es ist ein als Wirbelschichtreaktor ausgebildeter Reaktor zur Aufnahme von Reaktionsmittel vorgesehen, welches mit den gasförmigen Schadstoffen aus den Abgasen reagiert, wobei der Reaktor ein Gaszuföhrungssystem aufweist, welches derart ausgebildet ist, dass durch das Gaszuföhrungssystem strömendes Abgas Feststoff aus einer stationären Ringwirbelschicht, die das Gaszuföhrungssystem wenigstens teilweise umgibt, in die Wirbelmischkammer mitreißt. Dazu weist das Gaszuföhrungssystem ein sich vom unteren Bereich des Reaktors im Wesentlichen vertikal nach

oben vorzugsweise bis in die Wirbelmischkammer erstreckendes Gaszufuhrrohr (Zentralrohr) auf, welches von einer wenigstens teilweise ringförmig um das Zentralrohr herumführenden Kammer umgeben ist, in der die stationäre Ringwirbelschicht ausgebildet ist. Das Zentralrohr kann an seiner Austrittsöffnung als Düse ausgebildet sein und eine oder mehrere, verteilt angeordnete Öffnungen in seiner Mantelfläche aufweisen, so dass während des Reaktorbetriebs ständig Reaktionsmittel über die Öffnungen in das Zentralrohr gelangt und mit dem Abgas durch das Zentralrohr bis in die Wirbelmischkammer mitgeführt wird. Selbstverständlich können in dem Reaktor auch zwei oder mehr Zentralrohre mit unterschiedlichen oder gleichen Ausmaßen und Formen vorgesehen sein. Vorzugsweise ist jedoch wenigstens eines der Zentralrohre, bezogen auf die Querschnittsfläche des Reaktors, in etwa mittig angeordnet.

[0020] Um eine zuverlässige Fluidisierung des Feststoffes und die Ausbildung einer stationären Wirbelschicht zu ermöglichen, ist in der ringförmigen Kammer des Reaktors ein Gasverteiler vorgesehen, welcher die Kammer in eine obere Ringwirbelschicht und einen unteren Gasverteiler unterteilt, wobei der Gasverteiler mit einer Zufuhrleitung für Fluidisierungsgas, insbesondere Luft und/oder gereinigtes Abgas, verbunden ist. Der Gasverteiler (Düsenboden) kann als bspw. mit einem Gewebe abgedeckte Gasverteilerkammer oder als aus Rohren und/oder Düsen aufgebauter Gasverteiler ausgebildet sein. Zur Einstellung einer optimalen Reaktionstemperatur ist erfindungsgemäß eine Wasserezufuhrleitung zur Wassereindüsung in und/oder auf die Ringwirbelschicht des Reaktors vorgesehen.

[0021] Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist dem Reaktor mindestens ein Abscheider zur Abtrennung von Feststoffen, die auch mitgerissene Reaktionsmittel beinhalten, nachgeschaltet, der einen Grobabscheider, insbesondere ein Zyklon und/oder ein mechanischer Jalousieabscheider, und diesem nachgeschaltet einen Feinabscheider, insbesondere ein Elektro- oder Schlauchfilter, aufweisen kann. Dem Abscheider ist erfindungsgemäß ein Rezikulationssystem mit einer zu der Ringwirbelschicht des Reaktors führenden Feststoffleitung, einer in die Wirbelmischkammer des Reaktors führenden Feststoffleitung und/oder einer Austragsfeststoffleitung nachgeschaltet. Die Rezikulation ermöglicht eine besonders gute, an die jeweiligen Reaktionsbedingungen einfach anpassbare Ausnutzung des Reaktionsmittels. Dazu weist das Rezikulationssystem vorzugsweise einen Pufferbehälter zur Zwischenspeicherung von Feststoff und Reaktionsmittel sowie eine Dosiereinrichtung zur kontrollierten Rückführung in den Reaktor auf.

[0022] Hinter dem Abscheider ist abgasseitig erfindungsgemäß eine Reingaszufuhrleitung zur Reingasrückführung in die Ringwirbelschicht des Reaktors und/oder in das Zentralrohr vorgesehen, so dass das zu reinigende Abgas mit bereits gereinigtem Abgas vermischt werden kann, um Schwankungen im Volumenstrom des zu reinigenden Abgases ausgleichen und regeln zu können, wozu erfindungsgemäß auch der Rohabgasvolumenstrom durch geeignete Messgeräte erfasst werden kann.

[0023] Ferner weist die Anlage gemäß der vorliegenden Erfindung einen Differenzdruckmesser insbesondere zur Messung des Druckverlusts in dem Reaktor, einen Temperaturmesser insbesondere zur Messung der Temperatur in dem Reaktor oder dem den Reaktor verlassenden Abgasstrom und/oder einen Gasmesser insbesondere zur Messung der Reingaskonzentration in dem gereinigten Abgas auf. Diese Messwerte werden erfindungsgemäß entsprechenden Regelungen zugeführt, um insbesondere die Reaktionsmittelzufuhr, die Rezikulation, die Beimischung von gereinigtem Abgas in den zu reinigenden Abgasstrom, die Wassereindüsung in die Ringwirbelschicht des Reaktors oder andere Reaktionsparameter zu regeln. Eine solche Regelung von Druck, Temperatur und/oder Konzentration der Schadstoffe im Reingas erfolgt erfindungsgemäß mit Hilfe der vorgenannten Messgeräte, die bspw. über eine Kabel- oder Funkverbindung an die Regelung angeschlossen sind.

[0024] In der Ringwirbelschicht und/oder der Wirbelmischkammer des Reaktors können erfindungsgemäß Einrichtungen zum Umlenken der Feststoff- und/oder Reaktionsmittelströme vorgesehen sein. So ist es bspw. möglich, ein ringförmiges Wehr, dessen Durchmesser zwischen dem des Zentralrohrs und dem der Reaktorwand liegt, derart in der Ringwirbelschicht zu positionieren, dass die Oberkante des Wehrs über das sich im Betrieb einstellende Feststoffniveau ragt, während die Unterkante des Wehrs im Abstand zu dem Gasverteiler oder dgl. angeordnet ist. Feststoffe, die in der Nähe der Reaktorwand aus der Wirbelmischkammer ausregnen, müssen so zunächst das Wehr an dessen Unterkante passieren, bevor sie von der Gasströmung des Zentralrohrs wieder in die Wirbelmischkammer mitgerissen werden können. Auf diese Weise wird ein Feststoff- bzw. Reaktionsmittelaustausch in der Ringwirbelschicht erzwungen, so dass sich eine gleichmäßigere Verweilzeit des Feststoffs und des Reaktionsmittels in der Ringwirbelschicht einstellt.

[0025] Weiterbildungen, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich auch aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen und der Zeichnung. Dabei bilden alle beschriebenen

und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen oder deren Rückbeziehung.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0026] Fig. 1 zeigt ein Prozessdiagramm eines Verfahrens und einer Anlage gemäß der vorliegenden Erfindung, und

[0027] Fig. 2 zeigt einen Reaktor gemäß der vorliegenden Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0028] Anhand von Fig. 1 werden die Anlage und das Verfahren zur Entfernung von gasförmigen Schadstoffen aus Abgasen zunächst allgemein zur Erläuterung der erfindungsgemäßen Funktionsweise beschrieben.

[0029] Die Anlage weist zur trockenen Gasreinigung von Abgasen mit gasförmigen Schadstoffen wie Fluorwasserstoff HF, Chlorwasserstoff HCl oder Schwefeldioxid SO₂ einen bspw. zylindrischen, in Fig. 2 vergrößert dargestellten Reaktor 2 mit einem in etwa koaxial mit der Längsachse des Reaktors angeordneten Gaszufuhrrohr (Zentralrohr) 20 zur Zufuhr des zu reinigenden Abgases auf. Das Zentralrohr 20 erstreckt sich vom Boden des Reaktors 2 aus im Wesentlichen vertikal nach oben. Im Bereich des Bodens des Reaktors 2 ist ein ringförmiger Gasverteiler 24 vorgesehen, in den Zufuhrleitungen 25 und 26 münden. In dem vertikal oberen Bereich des Reaktors 2, der eine Wirbelmischkammer 21 bildet, ist eine Austrittsleitung angeordnet, die in einen als Zyklon ausgebildeten Abscheider 3 mündet.

[0030] Wird nun feinkörniges Reaktionsmittel über eine Feststoffleitung 13 (Reaktionsmittelzufuhrleitung) in den Reaktor 2 eingebracht, bildet sich auf dem Gasverteiler 24 eine das Zentralrohr 20 ringförmig umgebende Schicht aus, die als Ringwirbelschicht 22 bezeichnet wird. Durch die Zufuhrleitung 25, 26 eingeleitetes Fluidisierungsgas strömt durch den Gasverteiler 24 und fluidisiert die Ringwirbelschicht 22, so dass sich ein stationäres Wirbelbett ausbildet. Vorzugsweise ist der Gasverteiler 24 dazu als Gewebe ausgebildet. Die Geschwindigkeit des dem Reaktor 2 zugeführten Fluidisierungsgases wird dabei so eingestellt, dass die Partikel-Froude-Zahl in der Ringwirbelschicht 22 etwa zwischen 0,3 und 1,1 beträgt.

[0031] Durch die Zufuhr von weiterem Reaktionsmittel in die Ringwirbelschicht 22 steigt das Feststoff-Niveau in dem Reaktor 2 so weit an, dass Reaktionsmittel in die Mündung des Zentralrohres 20 gelangt. Durch das Zentralrohr 20 wird gleichzeitig das zu reinigende Abgas in den Reaktor 2 eingeleitet, das aus einem vorgeschalteten Prozess 1 bspw. bei einer Verbrennung erzeugt wird. Die Geschwindigkeit des dem Reaktor 2 durch das Zentralrohr 20 zugeführten Abgases wird vorzugsweise so eingestellt, dass die Partikel-Froude-Zahl in dem Zentralrohr 20 etwa zwischen 30 und 90 und in der Wirbelmischkammer 21 etwa zwischen 4 und 12 liegt.

[0032] Aufgrund einer Überhöhung des Feststoff-Niveaus der Ringwirbelschicht 22 gegenüber der Oberkante des Zentralrohres 20 läuft Reaktionsmittel über diese Kante in das Zentralrohr 20 über. Die Oberkante des Zentralrohres 20 kann hierbei gerade oder anders geformt, bspw. gezackt, sein oder seitliche Öffnungen aufweisen. Aufgrund der hohen Gasgeschwindigkeiten reißt das durch das Zentralrohr 20 strömende Abgas beim Passieren des oberen Mündungsbereichs Reaktionsmittel aus der stationären Ringwirbelschicht 22 in die Wirbelmischkammer 21 mit, wodurch sich eine intensiv durchmischte Suspension ausbildet. In der Wirbelmischkammer 21 reagieren die gasförmigen Schadstoffe mit dem körnigen Reaktionsmittel unter Bildung von Feststoffen.

[0033] Infolge der Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit durch die Expansion des Gasstrahls in der Wirbelmischkammer 21 und/oder durch Auftreffen auf eine der Reaktorwände verlieren die mitgerissenen Reaktionsmittelkörner rasch an Geschwindigkeit und fallen teilweise zusammen mit gebildetem Feststoff wieder in die Ringwirbelschicht 22 zurück. Dabei stellt sich zwischen den Reaktorbereichen der stationären Ringwirbelschicht 22 und der Wirbelmischkammer 21 eine Kreislaufströmung ein. Wegen dieser Kreislaufströmung zirkuliert das Reaktionsmittel besonders lange in dem Reaktor 2, wobei gleichzeitig die sehr guten Wärme- und Stoffaustauschbedingungen in der Wirbelmischkammer 21 ausgenutzt werden können.

[0034] Aufgrund der guten Reaktionsbedingungen in der Wirbelmischkammer 21, die durch die hohe Turbulenz und die damit verbundenen guten Wärme- und Stoffaustauschbedingungen hervorgerufen werden, und wegen der langen Verweilzeit des Reaktionsmittels in der Ringwirbelschicht 22 kann die Reaktion bis zum Erreichen von sehr niedrigen Reingaskonzentrationen bei nahe-stöchiometrischen Verbräuchen des Reaktions-

mittels durchgeführt werden.

[0035] Das Reaktionsmittel und die in der Reaktion gebildeten Feststoffe, die nicht aus dem Abgasstrom oberhalb des Zentralrohres **20** in der Wirbelmischkammer **21** ausgeschieden werden und direkt in die Ringwirbelschicht **22** zurückfallen, werden mit dem nun gereinigten Abgasstrom aus dem Reaktor **2** nach oben durch eine Austrittsleitung ausgetragen, in einem Grobabscheider **3**, **4** von dem Abgasstrom teilweise abgeschieden und zum größten Teil durch die Feststoffrückführleitung **11** in die Ringwirbelschicht **22** rezirkuliert. Je nach Reaktion werden Feststoffe und Reaktionsmittel zu einem bestimmten, vorzugsweise geringen Teil durch die Ausführleitung **18** aus dem Rezirkulationskreislauf des Rezirkulationssystem **23** ausgeschleust. Der Grobabscheider weist einen Zyklon **3** und einen mechanischen Jalousieabscheider **4** auf.

[0036] In dem als Elektro- oder Schlauchfilter ausbildeten Feinabscheider **5**, welcher dem Grobabscheider **3**, **4** nachgeschaltet ist, wird der restliche Feststoff vor Freisetzung des Abgases über einen Kamin **7** in die Atmosphäre aus dem Abgasstrom entfernt. Auch der in dem Feinabscheider **5** abgeschiedene Feststoff einschließlich Reaktionsmittel wird z.T. rezirkuliert bzw. aus dem Kreislauf ausgeschleust. Zur Feinabscheidung können alle Arten von Feinabscheidern **5**, insbesondere mechanische Abscheider, filtrierende Abscheider oder Elektrofilter verwendet werden.

[0037] Das Rezirkulationssystem **23** besteht aus entsprechenden Feststoffrückführleitungen **11**, **15** mit Ab-sperrorganen, einem oder mehreren Pufferbehältern **16** und insbesondere im Anschluss an Pufferbehälter **16** angeordneten Dosiervorrichtungen **17**, bspw. mechanische Walzenschieber oder Dosierwalzen. Die Rezirkulation für das Grob- und das Feinmaterial kann getrennt oder gemeinsam erfolgen.

[0038] Der nicht rezirkulierte Feststoff wird aus dem Prozess über Ausführleitungen **18** ausgeschleust, teilweise auch nur aus dem Grob- oder Feinmaterial des Rezirkulationsstroms. Die rezirkulierte Feststoffmenge kann bis zu 10 Mal so groß sein wie die frisch zugegebene Reaktionsmittelmenge.

[0039] Bei einigen Anwendungsfällen können allerdings das gesamte durch die Abgasreinigungsanlage durchgesetzte Reaktionsmittel und die Reaktionsprodukte (Feststoffe) weiterverarbeitet werden. Es tritt also kein echter Reaktionsmittelverbrauch auf. Deshalb können solche Reinigungsverfahren über die Zugabe von frischen Reaktionsmitteln mit großen Stöchiometriewerten betrieben werden, so dass eine Rezirkulation von abgeschiedenem Reaktionsmittel zur Verbrauchsminimierung nicht nötig ist. Der ausgeschleuste bzw. rezirkulierte Feststoff besteht zum überwiegenden Teil aus vollständig ausreagiertem bzw. zu einem geringen Teil aus nicht vollständig ausreagiertem Reaktionsmittel.

[0040] Zur Regelung der Rezirkulationsmenge kann der Differenzdruck über die Wirbelmischkammer **21** benutzt werden (PDIC). Dieser wird einfacherweise durch ein an einer den Reaktor überbrückenden Bypassleitung angeordnetes Druckmessgerät **32** gemessen und einer entsprechenden Regelung zugeführt. Die Sollwertvorgabe für den Differenzdruck **14** über die Wirbelmischkammer **21** beeinflusst die Schadstoffkonzentration im Reingas und/oder den Reaktionsmittelverbrauch, d.h. je höher der Differenzdruck **14** eingestellt ist, um so niedriger wird die Schadstoffkonzentration im Reingas bzw. der Reaktionsmittelverbrauch sein.

[0041] Frisches Reaktionsmittel wird der Ringwirbelschicht **22** bspw. aus einem Silo **29** über die Reaktionsmittelzufuhrleitung **13** zugeführt. Als Reaktionsmittel werden für die jeweilige Aufgabenstellung geeignete feinkörnige Materialien verwendet, bspw. Tonerde Al_2O_3 , Natriumkarbonat Na_2CO_3 , gelöschter Kalk $\text{Ca}(\text{OH})_2$, gebrannter Kalk CaO , etc.. Die Zuführung des Reaktionsmittels erfolgt in Abhängigkeit von der Schadstoffkonzentration im Reingas (gereinigtes Abgas) und wird über eine entsprechende Regelung (QIC), welche mit dem Schadstoffkonzentrationsmessgerät **28** verbunden ist, über eine Dosiervorrichtung **30** automatisch eingestellt. Mit zunehmender Schadstoffkonzentration im Reingas wird die Dosierate für das Reaktionsmittel erhöht.

[0042] Als zusätzlicher Freiheitsgrad zur Beeinflussung der Schadstoffkonzentration im Reingas bzw. zur Minimierung des Reaktionsmittelverbrauchs steht optional die Variation der Gasrückführung in die Ringwirbelschicht zur Verfügung. Wenn die Schadstoffkonzentration im Reingas ansteigt, wird die Gasrückführrate des gereinigten Abgases durch die Gasrückführleitung **26** erhöht. Damit erhöhen sich der Gaseintrag und die Geschwindigkeit in der Ringwirbelschicht **22**. Die Ringwirbelschicht **22** wird angehoben und der Feststoffüberlauf in das Zentralrohr **20** (Zentraldüse) bzw. in die Wirbelmischkammer **21** erhöht. Die in der Wirbelmischkammer **21** ablaufende Gas-Feststoff-Reaktion kann damit zu niedrigeren Reingasswerten hin verschoben werden. Diese Regelgröße kann sehr gut zum Abfangen von Schadgasspitzen im Abgas (Rohgas) verwendet werden. Die von der Reingasseite zu der Ringwirbelschicht **22** zurückgeführte Gasmenge beträgt zwischen 5 und 10 % der dem System zugeführten Abgasmenge. Die Gasrückführung zur Ringwirbelschicht kann mittels eines separa-

ten Gebläses **8** oder über die Druckseite des Systems und das Hauptgebläse **6** durch eine Rückführleitung **9** mit Regelklappe erfolgen.

[0043] Die optimale Temperatur für die gewünschte chemische Reaktion in dem Reaktor **2** hängt von dem Reaktionsmittel und dem zu entfernenden gasförmigen Schadstoff ab. Die optimale Reaktionstemperatur, die durch ein Temperaturmessgerät **27** in dem Abgasstrom hinter dem Reaktor **10** gemessen wird, wird mittels Wassereindüsung **12** und adiabatischer Verdampfung eingestellt (TIC). Das Wasser wird auf die Oberfläche der stationären Ringwirbelschicht **22** (Wirbelbett) oder direkt in die stationäre Ringwirbelschicht **22** eingebracht. Die Ringwirbelschicht **22** stellt einen definierten Raum dar, in dem aufgrund der guten Stoffaustauschbedingungen eine rasche Verdampfung auch größerer Wassertropfen mit einem Durchmesser bis zu 1 mm stattfindet. Damit ist eine Dosierung des zu verdampfenden Wassers auch mit niedrigen Drücken möglich. Die Dosierung des in die Ringwirbelschicht **22** eingebrachten Wassers kann über einfache Rohre oder eine bzw. mehrere Düsen erfolgen.

[0044] Diese Art des Wassereintrags ist ein erheblicher Vorteil gegenüber den bei den bisherigen Venturiwirbelschichtreaktoren erforderlichen Zwei-Stoff-Düsensystemen oder Hochdruckdüsensystemen. Die Ursache für die Verwendung von Hochdruckdüsen ist die undefinierte Lage und der undefinierte Zustand der Venturiwirbelschicht. Um deshalb die Verdunstungszeit der Tropfen zu verkürzen, müssen sehr kleine Tropfendurchmesser erzeugt werden. Dazu ist ein Hochdruckdüsensystem notwendig, auf das bei dem erfindungsgemäßen Reaktor **2** verzichtet werden kann.

[0045] Wenn bei Teillastbetrieb der Volumenstrom des zugeführten Abgases sehr stark zurückgeht, besteht auch die Möglichkeit, Reingas von der Druckseite des Saugzuggebläses **6**, **8** dem zu reinigenden Abgas vor dem Zentralrohr **20** des Ringwirbelschichtreaktors **2** zuzuführen. Auf diese Weise wird ein stabiler Betrieb des Ringwirbelschichtreaktors gewährleistet.

[0046] Aufgrund der guten Reaktionsbedingungen in der Wirbelmischkammer **21** durch die hohen Turbulenzen und die damit verbundenen guten Wärme- und Stoffaustauschbedingungen und aufgrund der langen Verweilzeit des Reaktionsmittels in der Wirbelschicht kann die Reaktion zur trockenen Abgasreinigung erfindungsgemäß bis zum Erreichen von sehr niedrigen Reingaskonzentrationen bei nahestöchiometrischen Verbräuchen des Reaktionsmittels durchgeführt werden. Dadurch wird eine besonders effektive Abgasreinigung mit geringem Reaktionsmittelverbrauch erreicht. Neben den bereits eingangs erwähnten Anwendungsfällen eignet sich das erfindungsgemäße Gasreinigungsverfahren auch zur Reinigung von Abgasen aus Sinteranlagen, die SO_2 enthalten.

Beispiel 1 (Entfernung von Fluorwasserstoff aus dem Abgasstrom von Elektrolysezellen zur Herstellung von Aluminium)

[0047] Bei der Schmelzflusselektrolyse von Aluminium werden erhebliche Mengen gasförmigen Fluorwasserstoffs (HF) frei. Dieser Schadstoff geht in das Ofenabgas über und muss vor der Freisetzung des Gases in die Atmosphäre aus dem Abgas entfernt werden.

[0048] Der aus den Elektrolysezellen **1** zusammengefasste Abgasstrom tritt mit einer Temperatur von 50 bis 150 °C in das von der Ringwirbelschicht **22** umgebene Zentralrohr **20** ein. Zurückgeführtes Reingas oder – sofern verfügbar – partikelfreies Abgas aus einem parallel geführten Gasstrom wird der Ringkammer des Reaktors **2** mit der Ringwirbelschicht **22** zugeführt. Dabei kann durch Einstellung der optimalen Temperatur in der Ringwirbelschicht **22** durch Wassereindüsung **12** bzw. Wasserverdampfung die optimale Wirkung für die Reaktion erreicht werden. Die Wassereindüsung **12** erfolgt direkt in die Ringwirbelschicht **22**.

[0049] Die Partikel-Froude-Zahlen Fr_p liegen dabei in dem Zentralrohr **20** bei 36, in der Ringwirbelschicht **22** bei 0,36 und in der Wirbelmischkammer **21** bei 5,1.

[0050] Als Reaktionsmittel wird übliches Alumina (Tonerde, Al_2O_3) verwendet. Aufgrund der großen spezifischen Oberfläche absorbiert Alumina den Fluorwasserstoff und bildet zum Teil Aluminiumfluorid AlF_3 . Das gesamte Material, welches durch die Fluorentfernungsanlage durchgesetzt wird, gelangt in die Elektrolysezellen, wo es zu Aluminium weiterverarbeitet werden kann. Ein Verbrauch findet also nicht statt. Deshalb können die Ringwirbelschichtreaktoranlagen zur Abgasreinigung ohne Rezirkulation von Feststoff betrieben werden.

[0051] Da bei diesem Anwendungsfall relativ niedrige Temperaturen auftreten, kann der Düsenboden des Gasverteilers **24** als nicht-temperaturbeständiges Gewebe ausgebildet sein.

[0052] Typische Reaktionsdaten ergeben sich aus der nachfolgenden Tabelle. Die Normkubikmeter Nm^3 geben den auf die Normbedingungen (273 °K, 1013 mbar) bezogenen Volumenstrom an.

Gasmenge:	100.000 - 2.000.000	m^3/h
Gastemperatur:	50 - 150	°C
HF-Gehalt im Abgas:	5 - 1000	mg/Nm^3
HF-Gehalt im Reingas:	< 1 - 5	mg/Nm^3

[0053] Ein Auslegungsbeispiel für eine Fluor-Entfernungsanlage mit ca. sechzig Elektrolysezellen einer Aluminiumhütte ist nachfolgend angegeben:

Auslegungsgröße		Zahl / Bemerkung		Einheit	
Volumenstrom		300000		$\text{Nm}^3(\text{trocken})/\text{h}$	
Gaszusammensetzung (trocken):					
Sauerstoff, O_2		18		Vol.-% (trocken)	
Kohlendioxid, CO_2		3		Vol.-% (trocken)	
Stickstoff (N_2), Edelgase		Rest		Vol.-% (trocken)	
Wassertaupunkt	Wasserdampfgehalt	21	22	° C	g/Nm^3 (tr.)
Schadgase:		Abgas	Reingas		
Fluorwasserstoff, HF		40 - 90	< 1	mg/Nm^3	
Chlorwasserstoff, HCl		-	-	mg/Nm^3	
Schwefeldioxid, SO_2		150 - 200	< 200	mg/Nm^3	
Staubgehalt		500	< 20	mg/Nm^3	
Temperatur		100		° C	

[0054] Der Verbrauch ergibt sich dabei wie folgt:

Verbrauchszahlen:			
Reaktionsmittel (Alumina, Tonerde)	300	kg/h	keine Feststoffrezirkulation

Beispiel 2 (Entfernung von sauren Gasen aus dem Rauchgasstrom von Verbrennungsanlagen)

[0055] Bei Verbrennungsprozessen werden die im Brennstoff gebundenen Schwefel-, Fluor- und Chlorverbindungen über diverse Gleichgewichtsreaktionen im wesentlichen zu Schwefeldioxid SO_2 , Fluorwasserstoff HF und Chlorwasserstoff HCl umgesetzt. Dies geschieht bspw. in Kraftwerken und Verbrennungsanlagen für Müll oder Sondermüll. Diese gasförmigen Verbindungen werden mit dem Abgas aus dem Brennraum 1 abgeführt und müssen vor Freisetzung in die Atmosphäre aus dem Abgasstrom entfernt werden.

[0056] Für die Entfernung von sauren Bestandteilen aus Abgasen (Rauchgasen) wurde bereits eine große Anzahl verschiedener nasser, trockener und quasitrockener Verfahren entwickelt. Allen Verfahren ist gemeinsam, dass die Entfernung der sauren Bestandteile simultan mit alkalischen Reagenzien erfolgt.

[0057] Der Abgasstrom aus einer Verbrennungsanlage **1** wird dem Zentralrohr **20** (Zentraldüse) zugeführt. Die Temperatur am Eintritt in das Zentralrohr **20** beträgt etwa 100 bis 250 °C.

[0058] Zurückgeführtes Reingas oder – falls verfügbar – partikelfreies Abgas aus einem parallel geführten Gasstrom – wird der in der Ringkammer ausgebildeten Ringwirbelschicht **22** zugeführt. Die Wirkungsweise der Ringwirbelschicht **22** kann durch Wassereindüsung **12** und die daraus resultierende Erhöhung des Wassergehalts im Abgas und durch adiabatische Verdampfung bei gleichzeitiger Absenkung der Gastemperatur gesteigert werden. Die Wassereindüsung **12** erfolgt über eine oder mehrere Düsen direkt auf die Oberfläche der oder in die Ringwirbelschicht **22**.

[0059] Die Partikel-Froude-Zahlen Fr_p liegen dabei in dem Zentralrohr **20** bei 89, in der Ringwirbelschicht **22** bei 1,0 und in der Wirbelmischkammer **21** bei 10.

[0060] Als Reaktionsmittel werden Kalziumverbindungen, wie gelöschter Kalk $Ca(OH)_2$ oder gebrannter Kalk CaO (Brannkalk), verwendet. Schwefeldioxid reagiert mit den Kalziumverbindungen unter Bildung von Sulfiten bzw. Sulfaten. Um den Reaktionsmittelverbrauch zu minimieren, wird ein Teil des im Vor- bzw. Feinabscheider **4, 5** abgeschiedenen Feststoffs rezirkuliert. Die Rezirkulationsphase kann bis zu zehn Mal so groß sein wie die Aufgabemenge für frisches Reaktionsmittel. Aufgrund der guten Stoffübergangsbedingungen in der Ringwirbelschicht **22** und der Wirbelmischkammer **21** wird ein hoher Abscheidegrad erreicht.

[0061] Typische Reaktionsdaten ergeben sich aus der nachfolgenden Tabelle.

Gasmenge:	5000 - 500000	m ³ /h
Gastemperatur:	100 - 250	°C, nach Vorentstaubung
SO ₂ -Gehalt im Abgas:	10 - 20000	mg/Nm ³
HCl-Gehalt im Abgas:	5 - 5000	mg/Nm ³
HF-Gehalt im Abgas:	5 - 1000	mg/Nm ³
SO ₂ -Gehalt im Reingas:	< 10 - 50	mg/Nm ³
HCl-Gehalt im Reingas:	< 1 - 50	mg/Nm ³
HF-Gehalt im Reingas:	< 1 - 50	mg/Nm ³

[0062] Ein Auslegungsbeispiel für eine Linie einer Müllverbrennungsanlage für ca. 400 Tagedonnen Hausmüll ist nachfolgend angegeben:

Auslegungsgröße		Zahl / Bemerkung		Einheit	
Volumenstrom		60000		Nm ³ (trocken)/h	
Gaszusammensetzung (trocken):					
Sauerstoff, O ₂		8,5		Vol.-% (trocken)	
Kohlendioxid, CO ₂		11,5		Vol.-% (trocken)	
Stickstoff (N ₂), Edelgase		Rest		Vol.-% (trocken)	
Wassertaupunkt	Wasserdampfgehalt	55	150	°C	g/Nm ³ (tr.)

Schadgase:	Abgas	Reingas	
Fluorwasserstoff, HF	< 30	< 1	mg/ Nm ³
Chlorwasserstoff, HCl	< 1200	< 10	mg/ Nm ³
Schwefeldioxid, SO ₂	< 500	< 50	mg/ Nm ³
Temperatur	180 - 220		°C, nach Kessel
Staubgehalt	5000	< 10	mg/ Nm ³
Temperatur	180 - 210		°C

[0063] Der Verbrauch ergibt sich dabei wie folgt:

Verbrauchszahlen:			
Reaktionsmittel Kalk Ca(OH) ₂	130	kg/h	bei ca. 300 % Feststoffrezirkulation
Wasser	1500 - 3000	kg/h	
Rezirkulierte Menge	ca. 400	kg/h	

Beispiel 3 (Entfernung von Schwefeldioxid, Fluorwasserstoff und Chlorwasserstoff aus dem Abgasstrom eines thermischen Produktionsprozesses)

[0064] Bei einigen Produktionsprozessen, bspw. der Glasherstellung, Zementherstellung, bei Kalzinieranlagen und in metallurgischen Prozessen, werden saubere Schadgase während des Herstellprozesses freigesetzt. Zur Gasreinigung werden vom Prinzip her ähnliche Verfahren wie für die vorbeschriebenen Verbrennungsanlagen eingesetzt. In vielen Industriebereichen ist jedoch ein geringerer Wirkungsgrad bzw. eine höhere Emission erlaubt.

[0065] In diesem Anwendungsbeispiel wird der Abgasstrom aus dem Produktionsprozess dem Zentralrohr **20** des Reaktors **2** zugeführt. Die Temperatur am Eintritt in das Zentralrohr beträgt ca. 200 bis 600 °C. Zurückgeführtes Reingas oder – falls verfügbar – partikelfreies Abgas aus einem parallel geführten Gasstrom wird in die Ringwirbelschicht **22** zugeführt.

[0066] Die Partikel-Froude-Zahlen Fr_p liegen dabei in dem Zentralrohr **20** bei 77, in der Ringwirbelschicht **22** bei 0,77 und in der Wirbelmischkammer **21** bei 10,7.

[0067] Als Reaktionsmittel werden Kalziumverbindungen wie Kalk Ca(OH)₂, Kalkstein CaCO₃ oder Branntkalk CaO verwendet. Schwefeldioxid reagiert mit der Kalziumverbindung unter Bildung von Sulfiten bzw. Sulfaten.

Aufgrund der guten Stoffübergangsbedingungen in der Ringwirbelschicht wird ein hoher Abscheidegrad erreicht. Bei manchen Anwendungen können das zur Schadstoffgasabscheidung verwendete Reaktionsmittel und die Reaktionsprodukte im Prozess weiterverarbeitet werden. Es findet also kein echter Verbrauch statt. Der Reaktionsmitteldurchsatz durch die Abgasreinigungsanlage ist also von untergeordneter Bedeutung. In diesen Fällen wird auf die Rezirkulation verzichtet und die frisch zugegebene Reaktionsmittelmenge wird entsprechend erhöht, um die erforderlichen Reingasgehalte sicherzustellen.

[0068] Typische Reaktionsdaten ergeben sich aus der nachfolgenden Tabelle.

Gasmenge:	5000 - 500000	m ³ /h
Gastemperatur:	200 - 600	°C
SO ₂ -Gehalt im Abgas:	1000 - 20000	mg/Nm ³
HCl-Gehalt im Abgas:	50 - 5000	mg/Nm ³
HF-Gehalt im Abgas:	20 - 1000	mg/Nm ³
SO ₂ -Gehalt im Reingas:	< 500 - 2000	mg/Nm ₃
HCl-Gehalt im Reingas:	< 10 - 50	mg/Nm ₃
HF-Gehalt im Reingas:	< 3 - 50	mg/Nm ₃

[0069] Ein Auslegungsbeispiel für Abgas aus einer Schmelzwanne für ca. 600 Tagestonnen Flachgas ist nachfolgend angegeben:

Auslegungsgröße		Zahl / Bemerkung		Einheit	
Volumenstrom		83000		Nm ³ (trocken)/h	
Gaszusammensetzung (trocken):					
Sauerstoff, O ₂		8		Vol.-% (trocken)	
Kohlendioxid, CO ₂		12		Vol.-% (trocken)	
Stickstoff (N ₂), Edelgase		Rest		Vol.-% (trocken)	
Wassertaupunkt	Wasserdampfgehalt	45	90	°C	g/Nm ³ (tr.)
Schadgase:		Abgas	Reingas		
Fluorwasserstoff, HF		20	< 5	mg/ Nm ³	
Chlorwasserstoff, HCl		90	< 30	mg/ Nm ³	
Schwefeldioxid, SO ₂		1000	< 500	mg/ Nm ³	
Staubgehalt		200	< 20	mg/ Nm ³	
Temperatur		360 - 380, max 450		°C	

[0070] Der Verbrauch ergibt sich dabei wie folgt:

Verbrauchszahlen			
Kalk Ca(OH) ₂	80	kg/h	bei 0% Rezirkulation
Wasser	0 -2000	kg/h	
Rezirkuliertes Material	40	kg/h	bei 50% Rezirkulation

Bezugszeichenliste

1	Prozess
2	Reaktor
3	Zyklon, Grobscheider
4	Jalousieabscheider, Grobabscheider
5	Elektro- oder Schlauchfilter, Feinabscheider
6	Hauptgebläse
7	Kamin
8	Gebläse
9	Rückführleitung mit Regelklappe
11	Feststoffrückführleitung
12	Wassereindüsung
13	Reaktionsmittelzufuhrleitung
15	Feststoffrückführleitung
16	Pufferbehälter
17	Dosiervorrichtung
18	Ausfuhrleitungen
20	Zentralrohr
21	Wirbelmischkammer
22	stationäre Ringwirbelschicht
23	Rezirkulationssystem
24	Gasverteiler
25	Zufuhrleitung
26	Gasrückführleitung
27	Temperaturmessgerät
28	Schadstoffkonzentrationsmessgerät
29	Silo
30	Dosiervorrichtung
32	Druckmessgerät

Patentansprüche

1. Verfahren zur Entfernung von gasförmigen Schadstoffen aus Abgasen, bei dem die gasförmigen Schadstoffe mit einem feinkörnigen Reaktionsmittel unter Bildung von Feststoffen in einem Reaktor (2) mit Wirbelschicht reagieren, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Abgas von unten durch ein Gaszufuhrrohr (20) in eine Wirbelmischkammer (21) des Reaktors (2) eingeführt wird, wobei das Gaszufuhrrohr (20) wenigstens teilweise von einer durch Zufuhr von Fluidisierungsgas fluidisierten, stationären Ringwirbelschicht (22) aus Reaktionsmittel umgeben wird, und dass die Gasgeschwindigkeiten des Abgases sowie des Fluidisierungsgases für die Ringwirbelschicht (22) derart eingestellt werden, dass die Partikel-Froude-Zahlen in dem Gaszufuhrrohr (20) zwischen 1 und 100, in der Ringwirbelschicht (22) zwischen 0,02 und 2 sowie in der Wirbelmischkammer (21) zwischen 0,3 und 30 betragen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikel-Froude-Zahl in dem Gaszufuhrrohr (20) zwischen 20 und 90 beträgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikel-Froude-Zahl in der Ringwirbelschicht (22) zwischen 0,2 und 1,2 beträgt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikel-Froude-Zahl in der Wirbelmischkammer (21) zwischen 3 und 15 beträgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Füllstand des Reaktionsmittels in dem Reaktor (2) so eingestellt wird, dass sich die Ringwirbelschicht (22) über das obere Mündungsende des Gaszufuhrrohrs (20) hinaus erstreckt und dass ständig Reaktionsmittel in das Abgas eingetragen und von dem Gasstrom zu der oberhalb des Mündungsbereichs des Gaszufuhrrohres (20) befindlichen Wirbelmischkammer (21) mitgeführt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Abgas Schwefeldioxid, Fluorwasserstoff und/oder Chlorwasserstoff enthält und dass als Reaktionsmittel Alumina, Na-

triumcarbonat und/oder Kalziumverbindungen, insbesondere gelöschter oder gebrannter Kalk, mit einer Korngröße von weniger als 100 µm zugeführt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Abgas vor der Zuführung in den Reaktor (2) vorentstaubt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der gebildete Feststoff und ggf. Reaktionsmittel mit dem Abgasstrom aus dem Reaktor (2) ausgeführt, mindestens einem Abscheider (3, 4, 5) zugeführt und in die Ringwirbelschicht (22) und/oder die Wirbelmischkammer (21) des Reaktors (2) rezirkuliert und/oder ausgeschleust wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die rezirkulierte Feststoffmenge bis zu dem 10-fachen der frisch zugegebenen Reaktionsmittelmenge beträgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelung der Rezirkulationsmenge in Abhängigkeit von dem Differenzdruck (14) über der Wirbelmischkammer (21) erfolgt.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuführung von Reaktionsmittel in Abhängigkeit von der Konzentration (10) der Schadstoffe im gereinigten Abgas erfolgt.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass gereinigtes Abgas und/oder Luft als Fluidisierungsgas in die Ringwirbelschicht (22) des Reaktors (2) zugeführt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Rate des zurückgeführten gereinigten Abgases von der Schadstoffkonzentration im gereinigten Abgas abhängt und insbesondere zwischen 5 bis 10 % der dem Reaktor (2) zugeführten Abgasmenge beträgt.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in Abhängigkeit von der Temperatur in dem Reaktor (2) und/oder der Temperatur des aus dem Reaktor (2) austretenden gereinigten Abgases eine Wassereindüsung in den Reaktor (2) erfolgt.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Abgas in dem Gaszufuhrrohr (20) insbesondere in Abhängigkeit von dem Abgasvolumenstrom gereinigtes Abgas als Reingas beigemischt wird.

16. Anlage zur Entfernung von gasförmigen Schadstoffen aus Abgasen, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 15, mit einem als Wirbelschichtreaktor ausgebildeten Reaktor (2), mit einem in einer ringförmigen Kammer des Reaktors (2) vorgesehenen Gasverteiler (24), welcher die ringförmige Kammer in eine obere Ringwirbelschicht (22) und eine mit einer Zufuhrleitung (25) für Fluidisierungsgas verbundene untere Gasverteilerkammer unterteilt, und mit einem Gaszuführungssystem, welches ein sich im unteren Bereich des Reaktors (2) im Wesentlichen vertikal nach oben bis in die Wirbelmischkammer (21) des Reaktors (2) erstreckendes Gaszufuhrrohr (20) aufweist, wobei das Gaszufuhrrohr (20) von einer wenigstens teilweise ringförmig um das Gaszufuhrrohr (20) herumführenden Kammer, in der eine stationäre Ringwirbelschicht (22) ausgebildet ist, umgeben ist, so dass durch das Gaszuführungssystem strömendes Abgas Reaktionsmittel aus der stationären Ringwirbelschicht (22) in die Wirbelmischkammer (21) mitreißt, dadurch gekennzeichnet, dass eine Wasserzufuhrleitung zur Wassereindüsung (12) in und/oder auf die Ringwirbelschicht (22) des Reaktors (2) vorgesehen ist.

17. Anlage nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Gaszufuhrrohr (20), bezogen auf die Querschnittsfläche des Reaktors (2), in etwa mittig angeordnet ist.

18. Anlage nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass dem Reaktor (2) mindestens ein Abscheider (3, 4, 5) zur Abtrennung von Feststoffen in dem gereinigten Abgas nachgeschaltet ist, und dass dem Abscheider (3, 4, 5) ein Rezirkulationssystem (23) mit einer zu der Ringwirbelschicht (22) des Reaktors (2) führenden Feststoffleitung (15), einer in die Wirbelmischkammer (21) des Reaktors (2) führenden Feststoffleitung (11) und/oder einer Austragsfeststoffleitung (18) nachgeschaltet ist.

19. Anlage nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Rezirkulationssystem (23) einen Pufferbehälter (16) und eine Dosiereinrichtung (17) aufweist.

20. Anlage nach einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Fluidisierungsgas Luft und/oder gereinigtes Abgas ist.

21. Anlage nach einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass hinter dem Abscheider (**3**, **4**, **5**) abgasseitig eine Reingaszufuhrleitung (**26**) zur Reingasrückführung in die Ringwirbelschicht (**22**) des Reaktors (**2**) und/oder in das Gaszufuhrrohr (**20**) vorgesehen ist.

22. Anlage nach einem der Ansprüche 16 bis 21, gekennzeichnet durch einen Differenzdruckmesser (**26**), einen Temperaturmesser (**27**) und/oder einen Gasmesser (**28**).

23. Anlage nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass an den Differenzdruckmesser (**26**), den Temperaturmesser (**27**) und/oder den Gasmesser (**28**) eine Regelung zur Einstellung von Druck, Temperatur und/oder Konzentration der Schadstoffe im Reingas angeschlossen ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Fig.1

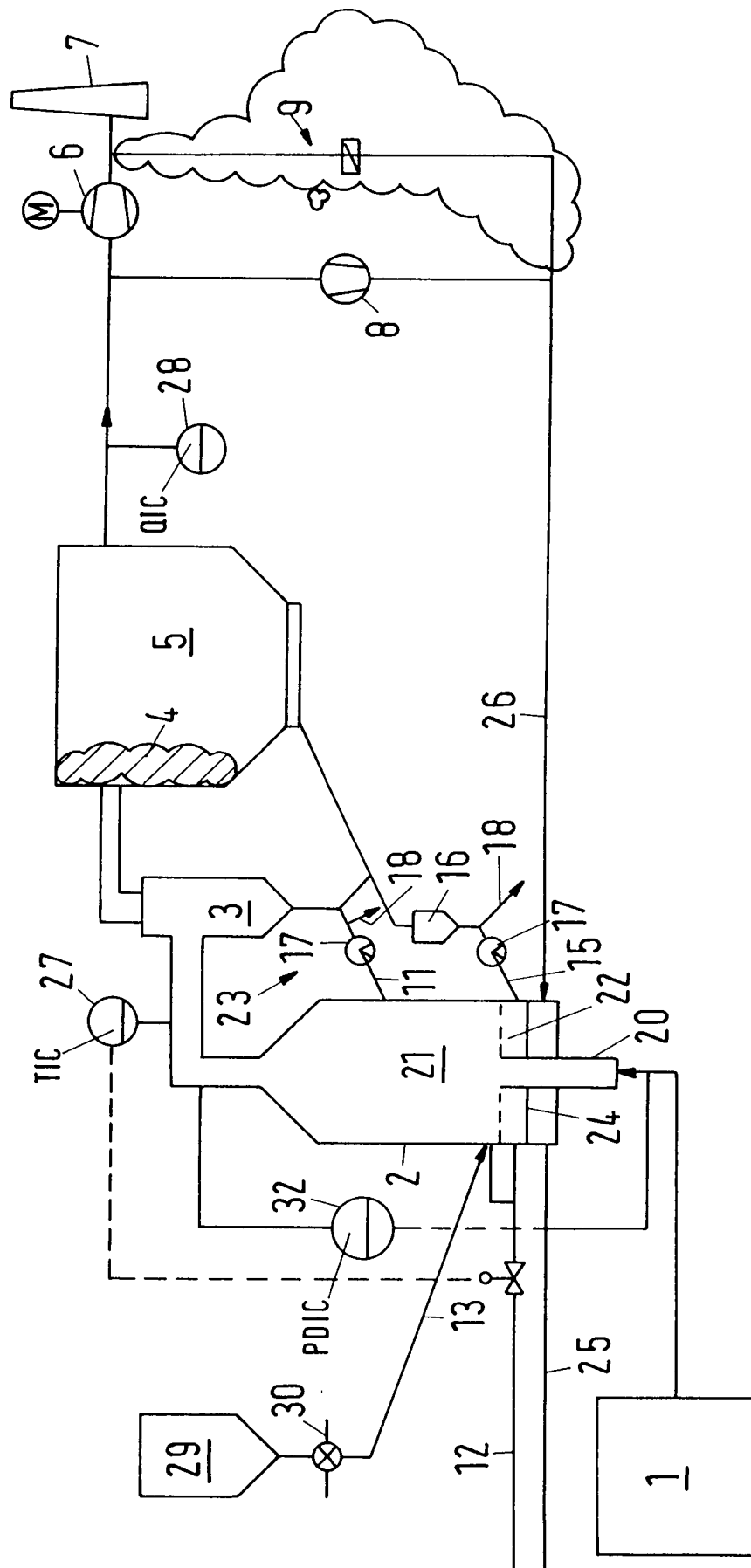


Fig.2

