



(11)

EP 3 239 607 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
01.11.2017 Patentblatt 2017/44

(51) Int Cl.:
F23C 15/00 (2006.01) **F23C 99/00** (2006.01)
F23C 7/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **17000515.1**

(22) Anmeldetag: **29.03.2017**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

(71) Anmelder: **Büchner, Horst**
98617 Meiningen (DE)

(72) Erfinder: **Büchner, Horst**
98617 Meiningen (DE)

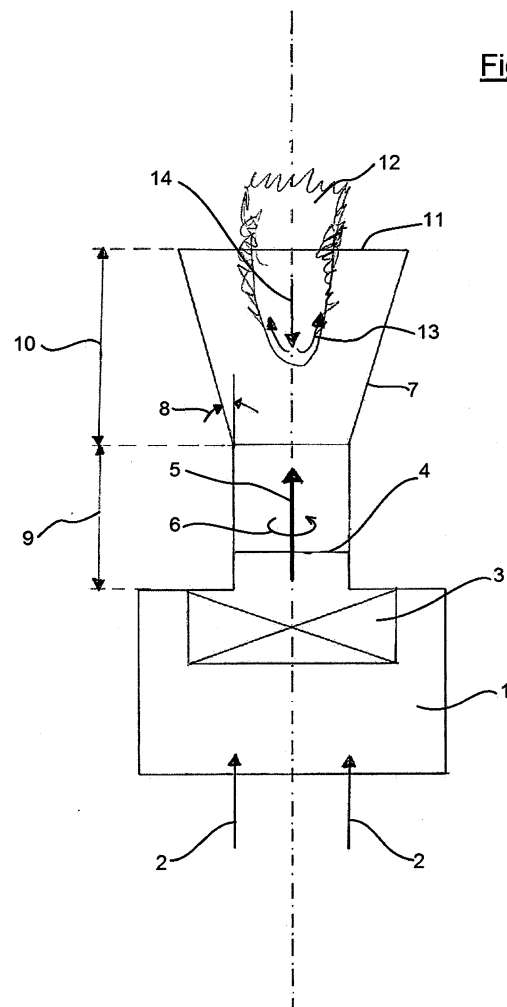
(74) Vertreter: **Petersen, Frank**
Patentanwalt
Mannheimer Strasse 46
76131 Karlsruhe (DE)

(30) Priorität: **28.04.2016 DE 102016005155**

(54) **SCHWINGFEUERREAKTOR MIT PULSIERENDER FLAMME INSBESONDERE FÜR EINE THERMISCHE MATERIALBEHANDLUNG ODER MATERIALSYNTHESE**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur sicheren Verhinderung eines unerwünschten Flammenrückschlages oder eines zu starken Abhebens/Verlöschens einer pulsierenden Flamme zum Einsatz in Schwingfeuer- oder Pulsationsreaktoren für eine thermische Materialbehandlung oder eine thermischer Materialsynthese. Durch die Erfindung ist es möglich, Schwingfeuer- oder Pulsationsreaktoren mit thermischer Materialbehandlung bei deutlich höheren Amplituden der Schwingung der Heißgasströmung im Reaktor zu betreiben und somit zum Einen die Eigenschaften des thermisch behandelten/thermisch synthetisierten Materials zu verbessern und zum Anderen die Durchsatzraten des Reaktors (Reaktorkapazität) deutlich zu erhöhen und somit die Produktionskosten gegenüber anderen thermischen Verfahren/Apparaten zur Materialbehandlung zu senken und die Schwingfeuer- oder Pulsationsreaktor-Technologie somit wettbewerbsfähiger zu machen. Erfindungsgemäß wird für die Erfindung ein Drallbrenner eingesetzt zur Erzeugung einer drallstabilisierten Flamme, wobei dem Brenner ein Diffusor nachgeschaltet ist, der eine im Wesentlichen konische Form aufweist.

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Schwingfeuerung für eine Materialbehandlung oder Materialsynthese (pulse dryer, pulse combustor, Pulsationsreaktor), die mindestens einen Brenner, mindestens eine pulsierende Flamme, eine Brennkammer sowie mindestens eine resonanzfähige Gassäule (z.B. in der Brennkammer oder in einem Resonanzrohr) aufweist, in die ein zu behandelnder Rohstoff einbringbar und aus dieser wieder abscheidbar ist, sowie eine entsprechende Verfahren zu deren Betrieb.

[0002] Die weitaus größte Zahl aller technischen oder industriellen Feuerungsanlagen und Verbrennungssysteme werden so ausgelegt und auch so betrieben, dass der Verbrennungsprozess bis auf geringe turbulente Schwankungen, deren Größe mindestens eine Größenordnung kleiner ist als die mittleren Größen des Verbrennungsprozesses (wie z.B. mittlere Strömungsgeschwindigkeit, mittlere Temperatur der Flamme oder der Abgasströmung, mittlerer statischer Druck in der Brennkammer, etc.), im Mittel zeitlich-konstant abläuft. Dies bedeutet, dass der Umsatz des eingesetzten Brennstoffes zeitlich kontinuierlich erfolgt und - als Folge hiervon - auch die Wärmefreisetzung aus dem Verbrennungsprozess sowie der Massenstrom an anfallendem Abgas (Verbrennungsprodukte) für eine feste Brennereinstellung zeitlich konstante Werte aufweisen.

[0003] Abweichend hiervon treten mitunter Phänomene bzw. "Abnormitäten" auf, die in der Literatur als Brennkammerschwingungen, selbsterregte Verbrennungsinstabilitäten oder thermo-akustische Schwingungen bezeichnet werden. Diese sind dadurch gekennzeichnet, dass der zunächst stationäre (d.h. zeitlich-konstante) Verbrennungsprozess beim Erreichen einer Stabilitätsgrenze plötzlich selbsttätig umschlägt in einen zeitlich-periodischen, schwingenden Verbrennungsprozess, der selbsterregt ist und dessen Zeitfunktion in guter Näherung als sinusförmig bezeichnet werden kann. Einhergehend mit dieser Änderung werden auch die Wärmefreisetzungsraten der Flamme(n) und somit die thermische Feuerungsleistung der Verbrennungsanlage sowie die Abgasströmung in und aus der Brennkammer sowie der statische Druck in der Brennkammer selbst periodisch-instationär, d.h. schwingend.

[0004] Das Auftreten dieser Verbrennungsinstabilitäten bewirkt oftmals ein gegenüber dem stationären Betrieb der Feuerung verändertes Schadstoff-Emissionsverhalten und verursacht neben einer erhöhten Lärmbelastung der Anlagenumgebung auch eine deutlich erhöhte mechanische und/oder thermische Belastung der Anlagenstruktur (z.B. Brennkammerwände, Brennkammerauskleidung, etc.), die bis zur Zerstörung der Feuerung bzw. einzelner Komponenten führen kann.

[0005] Es ist daher leicht einzusehen, dass das unerwünschte Auftreten der oben beschriebenen Phänomene in Feuerungen, die für einen zeitlichkonstanten Verbrennungsprozess ausgelegt sind, bei dem auch der sta-

tische Druck in der Brennkammer oder in vor- bzw. nachgeschalteten Anlagenkomponenten ebenfalls konstante Werte besitzen soll (Gleichdruck-Verbrennung), zwingend vermieden werden muss.

5 **[0006]** Ganz anders jedoch stellt sich die Situation bei einer kleinen Anzahl von sehr speziellen feuerungstechnischen Anlagen dar, bei denen das oben dargestellte Phänomen selbsterregter, periodischer Verbrennungsinstabilitäten absichtlich herbeigeführt und dazu genutzt
10 wird, einen periodischen Verbrennungsprozess mit periodischer Wärmefreisetzungsrate der Flamme und periodischer, schwingender Abgasströmung (pulsierende Heißgasströmung) in der Brennkammer und in nachgeschalteten Anlagenkomponenten (z.B. Wärmetauscher, chemische Reaktoren, etc.) zu erzeugen.

15 **[0007]** Man kann diese Schwingfeueranlagen einteilen in solche, bei denen die Wärme aus dem schwingenden Verbrennungsprozess übertragen wird z.B. zur Erzeugung von Heizwärme oder Brauchwasser oder zur Dampferzeugung (rein wärmetechnische Nutzung) oder
20 in schwingende Reaktoren, bei denen eine physikalische und/oder chemische Materialbehandlung eines Rohstoffes im Vordergrund steht (z.B. Trocknung, Kalzinierung, thermisch gesteuerte Stoffsynthese, etc.) und die häufig als pulse dryer oder pulse combustor oder Pulsationsreaktor bezeichnet werden.

25 **[0008]** Bei dem Rohstoff kann es sich auch um ein Rohstoffgemisch handeln. Der Rohstoff oder das Rohstoffgemisch können sowohl in fester als auch in flüssiger oder in gas- oder dampfförmiger Form vorliegen.
30

[0009] Der Vorteil dieser Anlagen gegenüber konventionellen, stationär arbeitenden Verbrennungssystemen besteht in der im zeitlichen Mittel periodisch-instationären und turbulenten Abgasströmung in der Brennkammer oder in nachgeschalteten Komponenten (z.B. Wärmetauscher, Reaktionsräume, Resonanzrohr, etc.).
35

[0010] Sowohl gegenüber festen Wänden (Brennkammerwand, Wand eines Wärmetauschers, Dampferzeuger, etc.) als auch gegenüber Material, das zur Behandlung in die Heißgasströmung mit definierter Behandlungstemperatur eingebracht wird, steigt der Wärmeübergang vom Heißgas auf Wände oder Material deutlich
40 um das 2- bis 5-fache gegenüber einer im Mittel stationären, turbulenten Strömung gleicher mittlerer Strömungsgeschwindigkeit und gleicher Temperatur.

45 **[0011]** Aufgrund der Analogie zwischen konvektivem Wärmeübergang und dem Stoffübergang gilt obige Aussage auch für den Stoffübergang: Im Falle der periodisch-instationären, schwingenden Strömung steigt die Übergangsrate gas-/dampfförmiger Stoffe aus dem Heißgas an das zu behandelnde Material oder vom Material in die Heißgasströmung um ähnliche Werte an aufgrund des nahezu vollständigen Fehlens von Grenzschichten, die bei stationären Strömungen bekannter Weise entstehen und Diffusions- bzw. Übergangswiderstände darstellen.
50

55 **[0012]** Aufgrund dieser Zusammenhänge erfährt zu behandelndes Material in pulsierenden Heißgasströ-

mungen hohe Aufheizgradienten ("Thermoschockbehandlung").

[0013] Um jetzt einen sicheren Anlagenbetrieb von Schwingfeueranlagen oder Pulsationsreaktoren zu gewährleisten, ist es wichtig, die beiden Hauptparameter der Verbrennungsschwingung - Schwingungsfrequenz und Schwingungsamplitude - innerhalb der Möglichkeiten eines großtechnischen Prozesses konstant zu halten. Ändern sich diese deutlich während des Prozesses, so ist damit zu rechnen, dass die Vorteile z.B. bei der Wärmeübertragung oder bei der Materialbehandlung gegenüber dem konventionellen, stationären Prozess verloren gehen und/oder die Homogenität des entstehenden Produktes darunter leidet.

[0014] Hinsichtlich der Schwingungsfrequenz, die bei der Entstehung selbsterregter Verbrennungs-Instabilitäten durch phasenrichtige Rückkopplungen im Wirkungskreis Brenner - Flamme - Brennkammer - Resonator auftritt, besteht in der Literatur Einigkeit darüber, dass diese im Wesentlichen von der Geometrie akustisch-aktiver bzw. resonanzfähiger Volumina (wie z.B. die Brennkammer, das Resonanzrohr, etc.) sowie von der Gastemperatur abhängen.

[0015] Wenn diese beiden Haupt-Einflussgrößen auf die Schwingungsfrequenz also während des Prozesses z.B. der Wärmeübertragung oder der Materialbehandlung bzw. Materialsynthese nicht verändert werden, so bleiben auch die Frequenz der Verbrennungs-/Druck-/Strömungsschwingungen in guter Näherung konstant.

[0016] Bei der Amplitude der Schwingung sind aber auch andere Einflussgrößen zu berücksichtigen.

[0017] Dies wird an folgendem Beispiel klar: Wenn in einem pulsierenden Reaktor mit fest vorgegebener Frequenz und sich damit (im Leerlaufbetrieb ohne Materialaufgabe selbsttätig) einstellender Amplitude der Verbrennungsschwingung dem schwingenden Heißgas Rohmaterial in unterschiedlichen Massenströmen (z.B. 50 kg/h und 100 kg/h) zur thermischen Behandlung zugegeben wird, dann bewirken unterschiedliche Aufgaberraten an Rohmaterial eine unterschiedlich starke Dämpfung der Schwingungsamplitude, da sich die Schwingungsenergie, die ursprünglich nur die Gas-schwingung des Heißgases bewirken musste, dann auf Heißgas mit unterschiedlich hoher Partikel- oder Tropfenbelastungen aufteilen muss.

[0018] Im Grenzfall ist es durch eine hinreichend große Zugabe pro Zeiteinheit von zu behandelndem Material sogar möglich, die Schwingung im Reaktor so völlig zum Erliegen zu bringen, wodurch die Vorteile des periodisch-instationären Prozesses für die Erzeugung spezifischer Materialeigenschaften (z.B. Partikelgrößen, spezifische Oberflächen, Reaktivität, etc.) im Produkt natürlich verschwinden. Hierbei soll noch einmal in Erinnerung gerufen werden, dass eine Verringerung der Schwingungsamplitude (charakterisiert z.B. als Amplitude der Schwingung des statischen Druckes in der Brennkammer oder der Schwingung der Geschwindigkeit der Heißgasströmung

in der Brennkammer oder im Resonanzrohr) zu einem Rückgang des konvektiven Wärme- und Stoffüberganges zwischen Heißgas und Wänden bzw. thermisch zu behandelndem Material führt, so dass damit die Vorteile des instationären Prozesses in Hinblick z.B. auf erreichbare, spezifische Materialeigenschaften verschwinden.

[0019] Mit anderen Worten: Jede Änderung sowohl der Massenströme der aufgegebenen Rohmaterialien als auch die spezifischen Materialeigenschaften unterschiedlicher Edukte (Rohstoffdichte, Feuchtegehalt, Partikelgrößenverteilung, Feststoffgehalte bei Suspensionen, etc.) verändern die Amplitude der Schwingung der pulsierenden Heißgasströmung bei Materialaufgabe und damit das Ergebnis der Materialbehandlung.

[0020] Im Hinblick auf einen bei Bedarf möglichst großen möglichen Materialdurchsatz ist man grundsätzlich daran interessiert, eine Anlage mit einer im Leerlauf möglichst großen Schwingungsamplitude zu betreiben.

[0021] Beim Betrieb einer Schwingfeuerungs muss dabei einerseits aber auch berücksichtigt werden, dass die im Verbrennungsprozess auftretenden Druck- oder Geschwindigkeitsamplituden nach oben sicher begrenzt werden, um eine mechanische/thermische Überlastung der Anlagenstruktur sicher zu vermeiden.

[0022] Andererseits müssen aber auch Flammenrückschläge oder ein Abheben bzw. Verlöschen der Flamme sicher vermieden werden, um einen stabil-schwingenden Dauerbetrieb zu gewährleisten.

[0023] Unter dem Begriff des Flammenrückschlages ist dabei Folgendes zu verstehen: In einer Schwingfeuerungs, die durch den oben beschriebenen Prozess insbesondere selbsterregter Verbrennungsinstabilitäten (Flammenschwingungen) angetrieben wird, kommt es zu einer zeitlich-periodischen Änderung des aus dem Brenner austretenden Massenstromes an Brenngas/Luft-Gemisch (z.B. im Falle von Vormischverbrennung) und somit auch zu einer zeitlich-periodischen Änderung der Brenneraustrittsgeschwindigkeit (Axialgeschwindigkeitskomponente), wohingegen die Flammengeschwindigkeit (Brenn-geschwindigkeit) des aus dem Brenner ausströmenden Gemisches bei einer konstanter Zusammensetzung (und somit konstanter Luftzahl der Vormischung) einen konstanten Wert besitzt.

[0024] Fällt die Strömungsgeschwindigkeit des ausströmenden Gemisches für einen Zeitraum während der Schwingungsperiode betragsmäßig unter den Wert der Flammengeschwindigkeit, so bewegt sich die Flamme entgegen der Ausströmrichtung stromaufwärts quasi in den Brenner hinein. Die Phase, in der die Strömungsgeschwindigkeit des ausströmenden Gemisches bedarfsmäßig unter dem Wert der Flammengeschwindigkeit liegt, vergrößert sich bei zunehmender Amplitude der Druck-/Verbrennungsschwingungen.

[0025] Nun ist es möglich, dass die Flamme in der Phase der Schwingungsperiode, in der die Strömungsgeschwindigkeit des ausströmenden Gemisches wieder bis zu ihrem Maximalwert ansteigt, wieder aus dem Brenner

herausgetrieben wird und somit zumindest während eines weiteren Zeitraumes wieder in der gewünschten axialen Position außerhalb des Brenners also stromab des Brenneraustritts brennt.

[0026] Besonders problematisch ist es jedoch, wenn die Flamme, wenn sie sich in den Brenner hineinbewegt, dann innerhalb des Brenners eine so stabile Verankerungsposition findet, dass sie auch bei den höchsten, innerhalb der Schwingungsperiode der Schwingung der Brenneraustrittsgeschwindigkeit auftretenden Strömungsgeschwindigkeit des ausströmenden Gemisches nicht mehr aus dem Brenner herausgetrieben werden kann und somit dauerhaft innerhalb des Brenners bzw. des Brennergehäuses brennt und dabei den Brenner thermisch schädigt bzw. zerstört.

[0027] Zusammengefasst versteht man unter dem Begriff des Flammenrückschlages also ein momentanes oder auch ein dauerhaftes Brennen der Flamme innerhalb des Brenners und nicht wie eigentlich gewünscht in einer angehobenen, stabilen Position axial nach dem Brenneraustritt außerhalb des Brenners.

[0028] Der Konstrukteur und der Betreiber von Schwingfeueranlagen zur thermischen Materialbehandlung oder Materialsynthese haben nach den obigen Ausführungen das nachfolgende Problem zu lösen:

Zum einen ist die Stärke also die Amplitude der Schwingung der Heißgasströmung in einer Schwingfeueranlage eine sehr wichtige, sowohl die Eigenschaften des behandelten oder synthetisierten Materials als auch die Homogenität des thermisch behandelten Materials bestimmende Größe. Die Amplitude ist somit ein wesentlicher Einstellparameter bei der thermischen Materialbehandlung/Materialsynthese in Pulsationsreaktoren.

[0029] Dabei können zu hohe Werte der Schwingungsamplitude der materialführenden Heißgasschwingung zu einem Flammenrückschlag führen und somit zu einer Schädigung/Zerstörung des Reaktors, der dann umgehend durch Abschalten der Flamme bzw. des Brenners entgegengewirkt werden muss.

[0030] Es ist nachzuvollziehen, dass das Abschalten der Anlage aufgrund eines ungewollten Flammenrückschlages auch dazu führt, dass das Material (Produkt), das zuletzt unter undefinierten thermischen Bedingungen thermisch behandelt und/oder synthetisiert wurde, als Ausschuss betrachtet werden muss.

[0031] Hinzu kommt, dass vor einem erneuten Anfahren des Reaktors und der Wiederaufnahme der thermischen Materialbehandlung oder -synthese ein mehr oder weniger aufwändiger Reinigungsprozess der materialführenden Reaktorabschnitte erforderlich ist, um thermisch undefiniert behandeltes oder synthetisiertes Material sicher aus dem Reaktor zu entfernen.

[0032] Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung anzugeben, mit der im Betrieb eines Pulsationsreaktors die Amplituden der

Schwingung der Heißgasströmung in der Brennkammer hohe Werte annehmen können, um somit auch beispielsweise die erzielbaren Produkt-Durchsatzraten und damit den Reaktordurchsatz steigern zu können, und bei der gleichzeitig die Gefahr eines ungewollten Rückschlages der pulsierenden Flamme in den Brenner hinein wirkungsvoll vermieden wird. Außerdem soll ein Verfahren zu deren Betrieb vorgeschlagen werden.

[0033] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Brenner zur Erzeugung einer pulsierenden Flamme zur Erzeugung einer pulsierenden Heißgasströmung als Drallbrenner ausgebildet ist und als Element an seinem Austritt einen Diffusor aufweist.

[0034] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zeichnet sich somit dadurch aus, dass das der pulsierenden Flamme zuströmende, pulsierende Brennstoff/Luftgemisch durch einen Drallbrenner und einen sich an diesen anschließenden Diffusor geleitet wird.

[0035] Bei dem Diffusor handelt es sich insbesondere um einen konisch ausgebildeten, vorzugsweise aus Metall geformten Diffusor, dessen freie Querschnittsfläche in axialer Strömungsrichtung zunimmt.

[0036] Ein Öffnungs-Halbwinkel des als Diffusor bezeichneten, erfindungsgemäßen Elements kann im Bereich zwischen 3 Grad und 45 Grad gewählt werden.

[0037] Eine axiale Erstreckung des Diffusors (Diffusorlänge) kann je nach Ausführung das 0,5-Fache bis zum 10-Fachen des freien Durchmessers des Brenneraustritts betragen.

[0038] Der Diffusor kann direkt nach einem Drallerzeuger am Brenner positioniert werden. Es ist aber auch möglich, zunächst am Austritt des Drallerzeugers noch ein zylindrisches Rohrelement vorzusehen, an das sich dann in axialer Strömungsrichtung der Diffusor anschließt.

[0039] Der Erfindung liegt dabei die überraschende Erkenntnis zugrunde, dass bei der Verwendung einer pulsierenden Vormisch-Drallflamme oder einer pulsierenden, schnellmischenden Diffusions-Drallflamme als "Antrieb" eines Schwingfeuer- oder Pulsationsreaktors zur Erzeugung des in diesem für die Materialbehandlung oder -synthese erforderlichen, pulsierenden Heißgasstromes ein als Diffusor ausgeführter Brennerauslaß bei richtiger Auswahl von Diffusorlänge und Diffusor-Öffnungswinkel selbsttätig ein Rückschlagen der pulsierenden Flamme in den Brenner hinein also einen Flammenrückschlag zu verhindern ist - und dies selbst bei sehr hohen Amplituden der Verbrennungsschwingung in der Brennkammer.

[0040] Ein mögliches Erklärungsmodell der Wirkung der Erfindung als autoadaptive Flammenrückschlag-Sicherung basiert darauf, dass bei dem Stromaufwärts-Wandern der pulsierenden Flamme in den Momenten der Schwingungsperiode mit niedriger Brenneraustrittsgeschwindigkeit die Flamme selbst einen Teil der freien Strömungs-Querschnittsfläche des Diffusors blockiert bzw. versperrt. Hierbei liegt die Erkenntnis zugrunde, dass bei einem Drallbrenner die von der Flamme bzw.

der inneren Rückströmzone der Drallströmung, welche der Flamme unterliegt, eingenommene Fläche (senkrecht zur Axialrichtung) dabei im Wesentlichen unabhängig von der in Axialrichtung des Brenners vorhandenen Ausströmgeschwindigkeit des Brenngas/Luft-Gemisches ist.

[0041] Damit ist dann ein Ausströmen des Frischgemisches aus dem Brenner nur durch den zwischen Flamme bzw. innerer Rückströmzone der Drallströmung, welche die Flamme bildet, und Diffusorwand verbleibenden freien Ringspalt möglich. Da die Fläche dieses Ringspalt senkrecht zur Brennerachse innerhalb des Diffusors aufgrund dessen konischer Geometrie bei gleichbleibender von der Flamme eingenommener Fläche stromaufwärts abnimmt, also immer kleiner wird, steigt aus Kontinuitätsgründen der Wert der axialen Strömungsgeschwindigkeit der aus dem Brenner ausströmenden Frischgemischströmung monoton an, bis ein Wert erreicht ist, bei dem die Flamme aufgrund ihrer begrenzten Flammengeschwindigkeit nicht mehr weiter stromaufwärts wandern kann, sondern in ihrer Bewegung zum Stehen kommt und verhardt.

[0042] Umgekehrt verhindert derselbe Mechanismus auch ein zu starkes Abheben (mit anschließendem Verlöschen) einer pulsierenden Flamme vom Brenneraustritt zu jenen Zeitpunkten der Schwingungsperiode, in denen besonders hohe, momentane Axialgeschwindigkeiten der pulsierenden Frischgemischströmung vorliegen:

Zunächst wird die Flamme in der Phase der Schwingungsperiode, in der die Strömungsgeschwindigkeit des ausströmenden Gemisches bis zu ihrem Maximalwert aufsteigt, zwar aufgrund der ansteigenden Strömungsgeschwindigkeiten der Frischgemischströmung innerhalb des Diffusors stromabwärts verschoben. Dadurch erhöht sich aber gleichzeitig die Größe der freien Ringspaltfläche, die zwischen der zentralen Flamme, die bei einem Drallbrenner ihre Fläche unabhängig von ihrer axialen Position beibehält, und der Diffusorwand liegt. Hierdurch sinkt aus Kontinuitätsgründen der Wert der axialen Strömungsgeschwindigkeit wieder ab und dadurch wird letztlich auch einem zu starken Abheben der Flamme vom Brenneraustritt (mit der Konsequenz, dass die Flamme dann sogar ganz erlöschen kann) wirksam entgegengewirkt.

[0043] Es wird an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das Brennen der pulsierenden Flamme innerhalb des Diffusors nicht als unzulässiger Flammrückschlag angesehen wird.

[0044] Insbesondere ist es durch eine hochtemperaturbeständige Auslegung des Diffusors zum Beispiel mittels einer keramische Innenauskleidung oder durch Zwangskühlung mittels einer doppelschaligen Ausführung des Diffusors mit Luft oder Wasser als Kühlmedium einem Fachmann leicht möglich, einen dauerhaft sicheren Betrieb der pulsierenden Flamme am/im Diffusor zu

gewährleisten.

[0045] Weiterhin sei darauf hingewiesen, dass das Problem des ungewollten Flammrückschlages durch die pulsierende Strömung in einem Schwingfeuer- oder Pulsationsreaktor nur dann von Bedeutung ist, wenn die Flamme voll-vorgemischt ist (Brennstoff und Verbrennungsluft werden räumlich vor dem Brenner miteinander molekular vermischt) oder wenn sie als schnellmischende Diffusionsflamme brennt. In letzterem Fall liegt z.B. eine Düsenmischflamme vor, bei der Brennstoff und Verbrennungsluft erst innerhalb des Brenners - bevorzugt am Brenneraustritt - zusammengeführt werden.

[0046] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels. Dabei zeigt:

Fig. 1 Prinzipskizze eines Drallbrenners mit Diffusor;
Fig. 2 die Prinzipskizze eines Diffusors gemäß Fig. 1 mit einer pulsierenden Flamme an zwei unterschiedlichen Positionen.

[0047] In der Fig. 1 erkennt man einen Drallbrenner 1, dem Brennstoff und Verbrennungsluft getrennt 2 oder bereits vorgemischtes Brennstoff/Luft-Gemisch 2 über mindestens eine hier nicht näher dargestellte Leitung zugeführt wird.

[0048] Unter Brennstoff versteht man z.B. Brenngase wie Erdgas, Methan, Wasserstoff oder Flüssigbrennstoffe wie Alkohol, etc. Unter Verbrennungsluft wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung allgemein ein Oxidationsmittel verstanden, das den für die Verbrennung benötigten Sauerstoff bereitstellt. Außer Luft gehören hierzu beispielsweise auch reiner Sauerstoff oder mit Sauerstoff angereicherte Luft etc.

[0049] Dieser Verbrennungsluftstrom oder dieses Brennstoff/Luft-Gemisch wird über einen Drallerzeuger 3 innerhalb des Drallbrenners 1 geleitet, so dass der aus dem Brenneraustritt 4 ausströmende Massenstrom 5 außer einer Bewegung in Axialrichtung eine Rotationsbewegung 6 in Umfangsrichtung (Tangentialgeschwindigkeitskomponente oder "Drall") aufweist.

[0050] Mit dieser Rotationsbewegung 6 strömt der Massenstrom 5 in einen Diffusor 7. Die Wände des Diffusors haben einen im Wesentlichen konischen Verlauf mit einem Öffnungshalbwinkel 8. Dieser Öffnungshalbwinkel 8 liegt dabei in einem Bereich zwischen 3° und 45° und wird gegenüber der Axialrichtung gemessen.

[0051] Der Brenneraustritt 4 hat einen im Wesentlichen kreisförmigen Querschnitt und kann eine axiale Erstreckung 9 haben, die vorzugsweise in etwa in dem Bereich zwischen 0 und 0,5 m liegt.

[0052] Die axiale Länge 10 des konischen bzw. kegelförmigen Diffusors 7 kann etwa einen Betrag von 0,1 bis 1 m haben. Er liegt damit bezogen auf die Abmessungen des Brenneraustritts 4 zwischen etwa dem 0,5-fachen und dem 10-fachen des freien Durchmessers des Brenneraustritts. Zu dem Ende 11 des Diffusors 7 hin bildet sich in dem Massenstrom 5 aus dem aus-

strömenden Brennstoff/Luft-Gemisch eine Drallflamme 12.

[0053] Diese Drallflamme 12 zeichnet sich insbesondere auch durch ein zentrales Rückströmgebiet 13 aus, das ein wichtiges Charakteristikum einer drallstabilisierten Flamme darstellt.

[0054] Die Flamme 12 brennt in einer pulsierenden Weise in eine hier nicht näher dargestellte, sich strömungstechnisch an den Diffusor 7 anschließende Brennkammer hinein und erzeugt dort eine schwingende Heißgasströmung. Dieser Heißgasströmung ist bedarfsweise eine Menge an Material zur Materialbehandlung oder Materialsynthese aufzugeben. Dieses Material wird, nachdem es in der Heißgasströmung behandelt oder synthetisiert wurde, abschließend beispielsweise in einem Zyklon oder einem Heißgasfilter wieder abgesondert, die ebenfalls nicht dargestellt sind.

[0055] Die Pulsation der Flamme 12 ist selbsterregt und wirkt dabei im Verbund Brenner - Flamme - Brennkammer - Reaktionsraum - Abscheidevorrichtung auf den zuströmenden Massenstrom 5 zurück.

[0056] Aufgrund der erwähnten Pulsation bzw. Schwingung der Heißgasströmung schwingt also auch die Flamme 12 und dadurch auch der in sie hineinströmende rotierende Massenstrom 5, was wiederum die Pulsation aufrecht erhält, u.s.w. d.h. der aus dem Brenner austretende Massenstrom hat einen zeitabhängigen - zumeist näherungsweise sinusförmigen - zeitlichen Verlauf).

[0057] Aufgrund des schwingenden Massenstromes 5 ändert sich die in Axialrichtung liegende Geschwindigkeit der Brennerausgangsströmung (Axialgeschwindigkeitskomponente der Brennerausströmung), während gleichzeitig die Flammengeschwindigkeit 14 der sich bildenden Flamme 12 konstant bleibt. Die Flammengeschwindigkeit ist dabei die Geschwindigkeit, mit der sich die Flamme 12 entgegen der Ausströmrichtung des ihr zuströmenden Brennstoff/Luft-Gemisches in diesem ausbreitet.

[0058] Damit verlagert sich die axiale Position der sich bildenden Flamme: Bei absinkender Ausströmgeschwindigkeit des Massenstromes 5 wandert die Flamme 12 in den Diffusor 7 hinein, beispielsweise bis in die in der Fig. 2 dargestellte "Position 1". Bei der sich anschließend im Zuge der Pulsation sich wieder erhöhenden Geschwindigkeit des Massenstromes 5 wird die Flamme wieder in Axialrichtung aus dem Diffusor 7 zurückgedrängt, beispielsweise bis in die in der Fig. 2 dargestellte "Position 2"

[0059] Jetzt ist aber die Flamme 12 in ihren geometrischen Ausdehnungen quer zur Ausströmrichtung unabhängig von ihrer axialen Position im Wesentlichen konstant. Dies hängt zusammen mit den speziellen Eigenschaften einer drallstabilisierten Flamme, wie sie oben bereits angesprochen wurden.

[0060] Da in den axialen Positionen 1 bzw. 2 die dort für die Strömung zur Verfügung stehenden Querschnittsflächen A_1 bzw. A_2 aufgrund der konischen Ausgestaltung des Diffusors 7 unterschiedlich groß sind, ergibt sich

so, dass sich zwischen den Positionen 1 und 2 die Ringflächen 15 bzw. 17 in ihren Größen entsprechend ändern, die sich an diesen Positionen zwischen der (in ihrer geometrischen Ausdehnung konstant bleibenden) Flamme 12 und der Wandung 16 des Diffusors bilden:

Da sich der Querschnitt des Diffusors in Flammenausbreitungsrichtung von der Fläche A_1 zu der Fläche A_2 konisch erweitert, vergrößert sich die freie Ringfläche des Ringspaltes entsprechend, der die Flamme 12 umgibt und der zwischen der Flamme 12 und der Wandung 16 des Diffusors 7 liegt. Dabei wirkt die drallstabilisierte Flamme 12 u.a. wegen der in ihr vorhandenen zentralen inneren Rückströmzone 13 wie ein fester Körper, der von dem Massenstrom 5 von ausströmendem Brennstoff/Luftgemisch nicht durchströmt werden kann.

[0061] In Position 2 stellt sich aufgrund der freien Ringfläche 15 eine axiale Geschwindigkeit U_2 mit einem Axialimpulsstrom I_2 ein. Wandert die pulsierende Flamme 12 nun wie beschrieben innerhalb der Pulsations- bzw. Schwingungsperiode aufgrund des sich mit der Zeit ändernden, zunächst abnehmenden Brenneraustrittsmassenstromes $M_{zu}(t)$ und somit abnehmender Austrittsgeschwindigkeit U stromaufwärts Richtung Brenner 1, erreicht sie die in Fig. 2 dargestellte Position 1.

[0062] In der Position 1 ist die freie Ringfläche 17 wie erläutert aufgrund der Form des Diffusors 7 kleiner als die freie Ringfläche 15 in der Position 2. Somit steigt bei gleicher, von der durch die zentrale Rückströmzone gekennzeichneten drallstabilisierten Flamme 12 eingenommenen, nicht durchströmbaren Fläche in der Position 1 die axiale Strömungsgeschwindigkeit U_1 an und damit steigt dort auch der Axialimpulsstrom I_1 . Der Axialimpulsstrom I_1 ist somit größer als der Axialimpulsstrom I_2 .

[0063] Aufgrund der wie erläutert ansteigenden axialen Strömungsgeschwindigkeit U_1 wird die Flamme 12 so an einem weiteren Stromauf-Wandern in den Diffusor 7 und damit in den Brenner 4 hinein gehindert. Vielmehr hält die Flamme 12 in etwa diese Position 1, bis der innerhalb der Pulsations- bzw. Schwingungsperiode wieder ansteigende Brenneraustrittsmassenstrom 5 mit demgemäß auch wieder ansteigender Brenneraustrittsgeschwindigkeit die Flamme 12 wieder stromab in die ursprüngliche, als sicher anzusehende Position 2 hinausrängt.

[0064] Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die Flamme 12 nicht bis zum Brenner 1 bzw. bis zum Drallerzeuger 3 wandern und sich in diesem bei einem Feuer-rückschlag festsetzen kann.

[0065] Es sei hier noch erwähnt, dass die Wandung 16 des Diffusors 7 und die Wandung 18 des Brenneraustritts 4 entweder ungekühlt oder aber wie in der Fig. 2 auf der linken Seite zu erkennen ist, mit einer Kühlung 19 versehen sein kann, die beispielsweise durch einen Strom 20 aus Luft oder Wasser zu bewirken ist, der durch

die Kühlung 19 geleitet wird.

[0066] Weiterhin ist es möglich, die Wandung 16 und 18 mit einer keramischen Auskleidung zu schützen.

[0067] Die hier beschriebene Vorrichtung und deren Betrieb ermöglichen es, die Schwingungsamplitude eines Schwingfeuerreaktors insbesondere auch im Leerlauf der Anlage (d.h. ohne Materialaufgabe) auf hohe Werte einzustellen, ohne dadurch das Risiko eines Flammenrückschlages in den Brenner tragen zu müssen, da ein derartiger Flammenrückschlag durch den erfindungsgemäß an dem verwendeten Drallbrenner vorgesehenen Diffusor sicher verhindert wird.

Bezugszeichenliste

[0068]

1	Drallbrenner	
2	Verbrennungsluft- oder Brennstoff/Luft-Gemisch-Massenstrom	
3	Drallerzeuger	
4	Brenneraustritt	
5	Massenstrom	
6	Rotation	
7	Diffusor	
8	Öffnungshalbwinkel	
9	axiale Erstreckung des Brenneraustritts	
10	axiale Erstreckung des Diffusors	
11	Ende des Diffusors	
12	Drallflamme	
13	Rückströmbereich	
14	Flammengeschwindigkeit	
15	Ringfläche	
16	Wandung	
17	Ringfläche	
18	Wandung	
19	Kühlung	
20	Luft- oder Wasserstrom	

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur thermischen Behandlung eines Rohstoffes in einem schwingenden Heißgasstrom eines Schwingfeuerreaktors, mit einem Brenner (1), dem über wenigstens eine Leitung ein Massenstrom (2) zur Bildung wenigstens einer pulsierenden Flamme (12) zugeführt wird, die den schwingenden Heißgasstrom erzeugt, wobei die Flamme (13) in einer Brennkammer angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Brenner (1) ein Drallbrenner ist und dass einem Brenneraustritt (4) des Brenners (1) ein Diffusor (7) nachgeschaltet ist
2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die pulsierende Flamme (12) eine drallstabilisierte Flamme ist und eine innere zentrale Rückströmzone (13) aufweist.

3. Vorrichtung gemäß einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Diffusor (7) eine konisch ausgebildete Form mit in Axialrichtung zunehmender Querschnittsfläche aufweist.
4. Vorrichtung gemäß einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Diffusor einen Öffnungshalbwinkel (8) hat, der im Bereich zwischen 3 Grad und 45 Grad liegt.
5. Vorrichtung gemäß einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Diffusor eine axiale Erstreckung zwischen dem 0,5-fachen und dem 10-Fachen des freien Durchmessers des Brenneraustritts (4) hat.
6. Verfahren zur thermischen Behandlung eines Rohstoffes in einem schwingenden Heißgasstrom eines Schwingfeuerreaktors, mit einem Brenner (1), dem über wenigstens eine Leitung ein Massenstrom (2) aus Brenngas und Luft zur Bildung wenigstens einer pulsierenden Flamme (12) zugeführt wird, die den pulsierenden Heißgasstrom erzeugt, wobei die Flamme in einer Brennkammer angeordnet ist, an den sich ein Reaktionsraum anschließt, **dadurch gekennzeichnet, dass** das der pulsierenden Flamme (12) zuströmende Brennstoff/Luftgemisch (2) durch einen Drallbrenner (1) und einen sich an diesen anschließenden Diffusor (7) geleitet wird.

Fig. 1

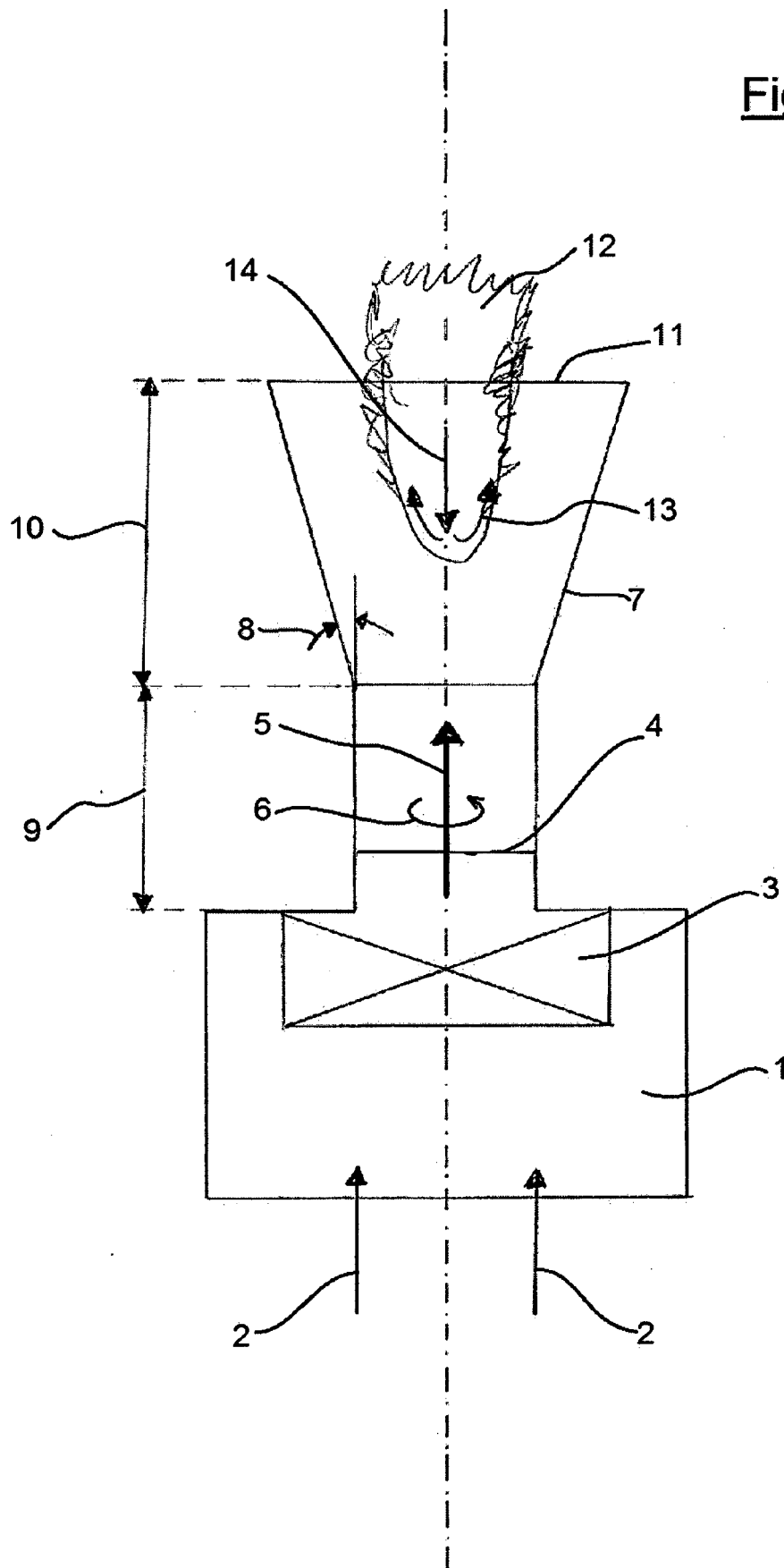
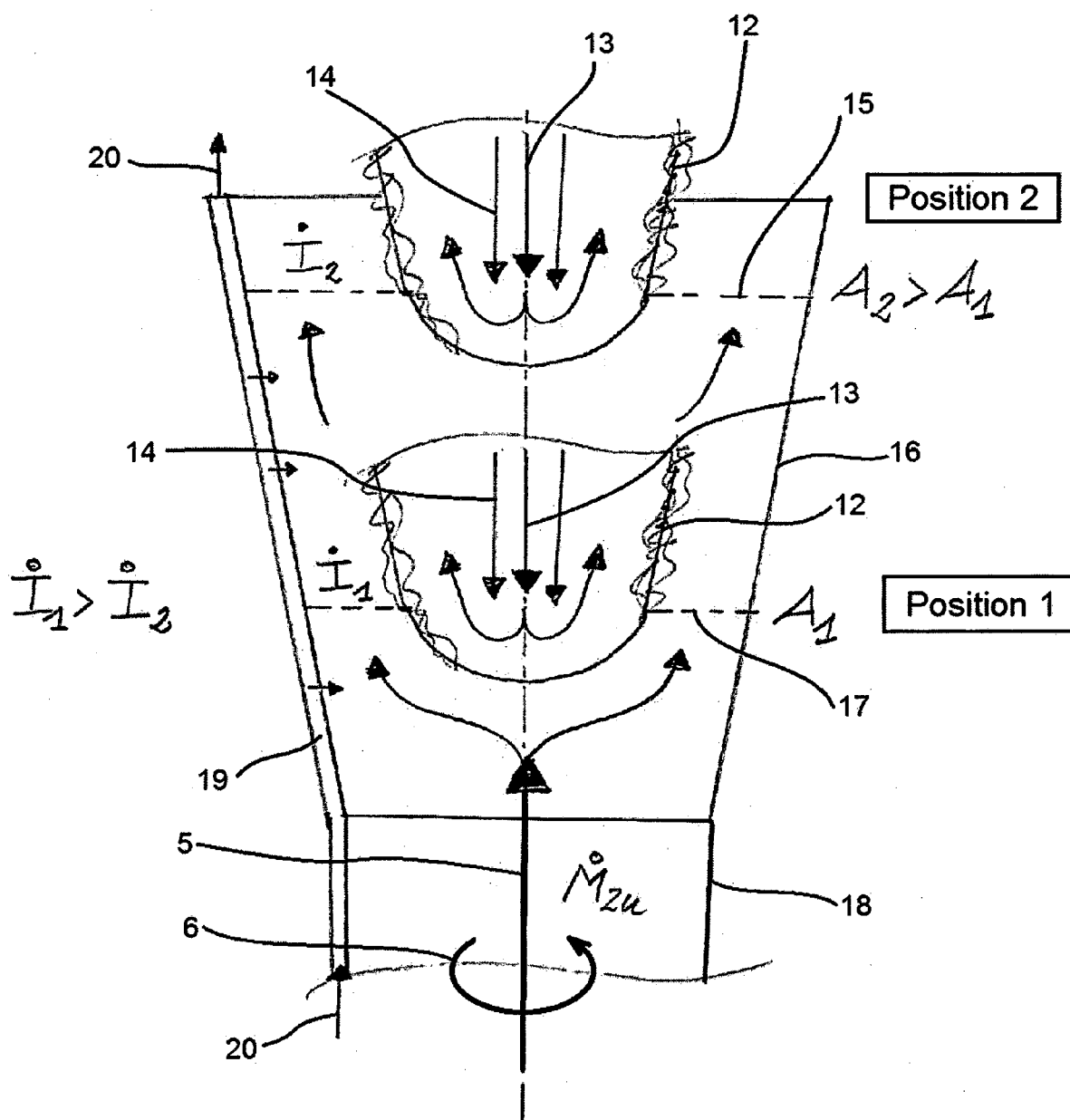


Fig. 2





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 17 00 0515

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 3 276 505 A (LUDWIG HUBER ET AL) 4. Oktober 1966 (1966-10-04) * Spalte 4, Zeilen 8-33 * * Abbildung 1 *	1-6	INV. F23C15/00 F23C99/00 F23C7/00
A	EP 2 092 976 A1 (IBU TEC ADVANCED MATERIALS AG [DE]) 26. August 2009 (2009-08-26) * Absatz [0102] * * Abbildung 3 *	1,6	
A	DE 195 45 310 A1 (ASEA BROWN BOVERI [CH]) 12. Juni 1997 (1997-06-12) * Spalte 5, Zeilen 25-38 * * Abbildung 8 *	1-6	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F23C B01J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 18. August 2017	Prüfer Vogl, Paul
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 17 00 0515

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

18-08-2017

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
15	US 3276505	A	04-10-1966	AT	249843 B	10-10-1966
				BE	643503 A	29-05-1964
				CH	419409 A	31-08-1966
				DE	1276855 B	05-09-1968
				GB	987079 A	24-03-1965
				NL	6401308 A	24-08-1964
				SE	306386 B	25-11-1968
				US	3276505 A	04-10-1966
20	-----					
	EP 2092976	A1	26-08-2009	DE 102008006607	A1	06-08-2009
EP				2092976 A1	26-08-2009	
25	-----					
	DE 19545310	A1	12-06-1997	KEINE		

30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82