



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**23.02.2022 Patentblatt 2022/08**

(21) Anmeldenummer: **20191986.7**

(22) Anmeldetag: **20.08.2020**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**F23C 10/20** (2006.01) **F23C 10/26** (2006.01)  
**F23C 10/24** (2006.01) **F23C 3/00** (2006.01)  
**F23C 7/00** (2006.01) **F23C 6/04** (2006.01)  
**F23G 5/30** (2006.01) **F22B 31/00** (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**F23C 10/20; F22B 31/0092; F23C 6/045;**  
**F23C 7/002; F23C 10/24; F23C 10/26; F23G 5/30;**  
**F23C 2202/30; F23C 2900/06041; F23G 2202/101;**  
**F23G 2203/502**

(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:  
**KH MA MD TN**

(71) Anmelder: **Steinmüller Engineering GmbH**  
**51643 Gummersbach (DE)**

(72) Erfinder: **Hamel, Stefan**  
**51643 Gummersbach (DE)**

(74) Vertreter: **Godemeyer Blum Lenze Patentanwälte**  
**Partnerschaft mbB - werkpatent**  
**An den Gärten 7**  
**51491 Overath (DE)**

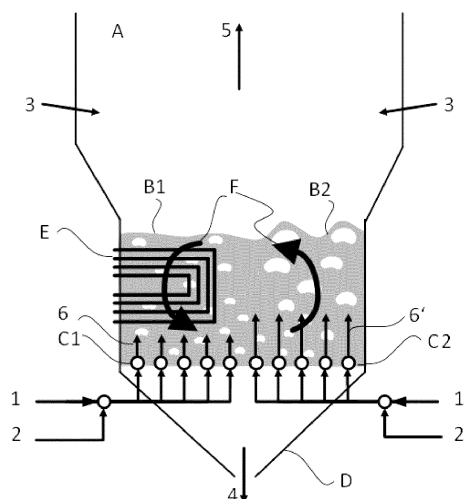
(54) **ASYMMETRISCHER WIRBELBETTOFEN ZUR VERBRENNUNG VON STOFFEN**

(57) Die Erfindung betrifft einen Wirbelbettofen der stationären Bauart umfassend:  
einen Wirbelschichtreaktor (A), der eingerichtet ist ein fluidisiertes Wirbelbett auszubilden, umfassend:  
eine erste Zone zur Wärmerückgewinnung (B1) umfassend einen fluidisierten Wirbelbettbereich mit Tauchheizflächen (E) und einen Fluidisiergas-Verteiler (C1) mit Fluidisierelementen (6), und  
eine zweite Zone zur Primärverbrennung (B2) umfassend einen fluidisierten Wirbelbettbereich ohne Tauchheizflächen und einen Fluidisiergas-Verteiler (C2) mit Fluidisierelementen (6');  
wobei die erste Zone zur Wärmerückgewinnung (B1) und die zweite Zone zur Primärverbrennung (B2) ein gemeinsames fluidisiertes Wirbelbett ausbilden, und  
wobei die Fluidisierung des Wirbelbettbereiches der zweiten Zone (B2) eine höhere Geschwindigkeit aufweist als die der ersten Zone (B1), sodass sich eine Wirbelbettinterne Materialzirkulation (F) zwischen der ersten und zweiten Zone entlang der Tauchheizflächen einstellt, und  
wobei die Querschnittsfläche der ersten Zone (B1) von 0,4 bis 0,75 des gesamten Wirbelschichtreaktor-Querschnitts umfasst;  
einen Bettmaterial-Abzugstrichter (D), der sich im Bereich unterhalb der Fluidisiergas-Verteiler (C1, C2) anschließt; und  
einen Freiraum oberhalb des Wirbelschichtreaktors (A), in dem Ausbrandluftdüsen (3) innerhalb von Ausbrand-

luft-Ebenen angeordnet sind.

Der Wirbelbettofen sowie das Verfahren zum Betreiben des Wirbelbettofens ist geeignet, insbesondere Materialien mit einem hohen Heizwert und einem hohen Anteil an flüchtigen Bestandteilen zu verbrennen. Der technische Effekt wird durch einen asymmetrischen Betrieb des Wirbelbettes erreicht.

Fig. 1



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Wirbelbettofen und ein Verfahren zum Betreiben des Wirbelbettofens zur Verbrennung von Stoffen, insbesondere von Materialien mit hohen Heizwerten, problematischer Zusammensetzung und/oder einem hohen Anteil an flüchtigen Bestandteilen, umfassend einen Wirbelschichtreaktor der stationären Bauart und einen Freiraum oberhalb des Wirbelschichtreaktors zur Nachverbrennung.

## Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Seit Dekaden wird die Wirbelschichttechnik zur Verbrennung von Kohle und Klärschlamm erfolgreich eingesetzt. In den letzten ca. zwanzig Jahren wurde das Brennstoffspektrum stetig erweitert mit beispielsweise Biomassen, biogenen Reststoffen, Abfällen, Produktionsabfällen bis hin zu Ersatzbrennstoffen und anderen aus Abfall aufbereiteten Einsatzstoffen wie Papierschlamm, RDF (*Refuse Derived Fuel*), SRF (*Solid Recovered Fuel*). Damit haben sich gleichzeitig die Anforderungen an den Betrieb und das Design von Wirbelschichtanlagen verändert und erweitert.

**[0003]** Die Wirbelschicht selbst besteht grundsätzlich überwiegend aus Bettmaterial, bestehend aus Sand und Brennstoffasche, wobei sich zu einem geringen Masseanteil auch der Brennstoff im Bett befindet. Die Wirbelschicht wird mithilfe der sogenannten Primärluft fluidisiert, die durch einen Gasverteiler möglichst gleichmäßig über den Reaktorquerschnitt eingebracht wird, um eine sichere und gleichmäßige Fluidisierung zu erhalten. Dadurch werden die Feststoffe dreidimensional bewegt und damit in horizontaler und vertikaler Richtung gemischt. Dies bewirkt eine gleichmäßige Brennstoff- und damit auch Temperaturverteilung innerhalb des Bettes. Die gleichmäßige Temperaturverteilung und die im Vergleich niedrige Wirbelbetttemperatur gelten als hauptsächlicher Vorteil der Wirbelschichtverbrennung gegenüber der Rost- und Staubfeuerung. Die Wirbelbettmasse wirkt als beweglicher Wärmespeicher und gleicht Schwankungen der Brennstoffqualitäten hinsichtlich Heizwert, Schadstoffgehalten und Wassergehalten aus.

**[0004]** EP 0 431 163 A1 bezieht sich auf ein Wirbelbett zur Verbrennung von Abfällen verschiedener Art, die durch die Ausbildung einer internen Zirkulation des Bettmaterials gekennzeichnet ist. Die interne Zirkulation wird durch unterschiedliche Fluidisierungsgeschwindigkeiten in verschiedenen Zonen des Wirbelbettes hervorgerufen.

**[0005]** EP 2 933 557 A1 offenbart einen Wirbelschichtofen, der sich aus einem Ofenkörper, einer beweglichen Bettplatte, einer ersten Wirbelschichtplatte, einer zweiten Wirbelschichtplatte, einem Gebläse und einem Turbogebälse zusammensetzt. Der Boden des Wirbelschichtofens besitzt Öffnungen, die nur für das Fluidisierungsgas durchlässig sind. Das Bettmaterial wird zu den speziell dafür eingerichteten Abzugsöffnungen transpor-

tiert und dort abgezogen. Es wird eine interne Bettzirkulation eingestellt, die den Abtransport des Bettmaterials sicherstellt. Dazu wird das Fluidisiermedium über in Richtung Auslass geneigte Diffusorplatten in das Wirbelbett gegeben. In einer der Ausführungsformen tritt das Fluidisiermedium mithilfe von zwei Diffusorplatten mit zwei unterschiedlichen Austrittsgeschwindigkeiten aus, wodurch ein zirkulierender Wirbelstrom entsteht.

**[0006]** EP 0 740 109 A2 beschreibt eine stationäre Wirbelschicht zur Verbrennung von verschiedenen Stoffen, z.B. Abfälle und Kohle. Die Bauart des beschriebenen Wirbelschichtofens berücksichtigt insbesondere den Abzug von nicht-brennbaren Bestandteilen der Einsatzstoffe, z.B. Asche, Störstoffe oder Agglomerate.

**[0007]** EP 3 124 862 B2 beschreibt in Figur 1 einen Wirbelbettofen mit Auslassöffnungen für nicht brennbare Bestandteile, die im Boden eines Wirbelbettofens angeordnet sind. Der Wirbelbettofen umfasst weiterhin verschiedene Wirbelbettbereiche, die unterschiedliche Fluidisierungsgeschwindigkeiten aufweisen. In dem Wirbelbettbereich mit geringerer Fluidisierungsgeschwindigkeit sind Tauchheizflächen angeordnet.

**[0008]** Wie bereits erwähnt hat sich das Brennstoffspektrum in den letzten Jahren stark erweitert. Es gibt unterschiedlichste Brennstoffe und Abfallfraktionen, die teilweise hohe Heizwerte, eine problematische Aschezusammensetzung, gewisse Anteile von Störstoffen sowie einen hohen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen aufweisen. Für die Umsetzung in kleinen bis mittelgroßen thermischen Anlagen werden oftmals, trotz der Vorteile des Wirbelschichtreaktors, klassische Rostfeuerungen eingesetzt, da Wirbelschichtreaktoren der zirkulierenden Bauart zwar verfahrenstechnische Vorteile bieten, aber nur für große Anlagen wirtschaftlich zu betreiben sind.

**[0009]** Als Verfahrensvariante steht das Prinzip der stationären oder auch blasenbildenden Wirbelschicht zur Verfügung. Insbesondere bei sehr heizwertreichen Brennstoffen muss besonderes Augenmerk auf die Wirbelbetttemperatur gelegt werden, um in Verbindung mit weiteren schwierigen Brennstoffeigenschaften wie der Zusammensetzung der Asche und dessen Erweichungsverhalten unter Temperatur, sowie der Gegenwart von Begleit- und Störstoffen, Agglomerationen im Wirbelbett zu verhindern.

**[0010]** Oftmals wird für die stationäre Wirbelschicht als obere Grenze für den Brennstoff ein Heizwert von rund 18 MJ/kg genannt. Hauptgrund ist die Einstellung der Betttemperatur, die je nach Ascheerweichungsverhalten typischerweise um etwa 850°C, jedoch nicht höher als üblicherweise etwa 900°C liegen sollte. Sind die Brennstoffeigenschaften nicht zu verändern, muss mittels anderer Maßnahmen ein sicherer Anlagenbetrieb gewährleistet werden.

**[0011]** Bei zu hoher Energiefreisetzung im Wirbelbett durch die Verbrennung von heizwertreichen Stoffen, wie beispielsweise Kohle, die durch einen hohen Heizwert, aber geringen Flüchtigengehalt gekennzeichnet ist, ist

es erforderlich Wärme aus dem Wirbelbett abzuführen. Dies kann einerseits über die Wärmeübertragung an die Reaktorwände des Wirbelbettofens erfolgen, wobei diese z.B. zur Verdampfung im Wasser-/dampf-Kreislauf gestaltet sind. Andererseits ist die Wärmeabfuhr auch über zusätzlich innerhalb des Wirbelbetts angeordnete Tauchheizflächen möglich.

**[0012]** Zur Temperatureinstellung des Wirbelbettes sind außerdem weitere Parameter wie der Flüchtigengehalt zu beachten. Während im Falle von Kohle (geringer Flüchtigengehalt) die überwiegende Umsetzung des Brennstoffs im Bett selbst stattfindet, verlagert sich bei Brennstoffen mit höheren Flüchtigengehalt die Umsetzung in den Freiraum oberhalb des Wirbelbetts selbst. Flüchtige Bestandteile, die vom Brennstoff zum einen Teil direkt im Wirbelbett, zum anderen Teil erst an der Wirbelbettoberfläche freigesetzt werden, werden in zunehmenden Maße auch oberhalb des Wirbelbettes im Freiraum in der Ausbrandzone umgesetzt. Damit reduzieren sich der Brennstoffumsatz innerhalb des Bettes und dadurch auch die Betttemperatur.

**[0013]** Aufgrund der Notwendigkeit unterschiedlichste Brennstoffe und Abfallfraktionen thermisch verwerten zu können, was es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, den Einsatzbereich von stationären oder auch blasenbildenden Wirbelschichtreaktoren bezüglich des Heizwertes der Brennstoffe zu erweitern. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf Brennstoffe gelegt, die teilweise hohe Heizwerte besitzen, deren Asche eine komplexe Zusammensetzung aufweisen und/oder ein von der Temperatur stark abhängiges variables Erweichungsverhalten zeigen (Agglomerationsneigung), und einen nicht zu vernachlässigenden Anteil an Begleitstoffen, Störstoffen sowie flüchtigen Bestandteilen verfügen.

**[0014]** Diese technische Aufgabe wird gelöst durch einen Wirbelbettofen der stationären Bauart umfassend einen Wirbelschichtreaktor (A), der eingerichtet ist ein fluidisiertes Wirbelbett auszubilden, umfassend:

eine erste Zone zur Wärmerückgewinnung (B1) umfassend einen fluidisierten Wirbelbettbereich mit Tauchheizflächen (E) und einen Fluidisiergas-Verteiler (C1) mit Fluidisiererelementen (6), und eine zweite Zone zur Primärverbrennung (B2) umfassend einen fluidisierten Wirbelbettbereich ohne Tauchheizflächen und einen Fluidisiergas-Verteiler (C2) mit Fluidisiererelementen (6'); wobei die erste Zone zur Wärmerückgewinnung (B1) und die zweite Zone zur Primärverbrennung (B2) ein gemeinsames fluidisiertes Wirbelbett ausbilden, und wobei die Fluidisierung des Wirbelbettbereiches der zweiten Zone (B2) eine höhere Geschwindigkeit aufweist als die der ersten Zone (B1), sodass sich eine Wirbelbett-interne Materialzirkulation (F) zwischen der ersten und zweiten Zone entlang der Tauchheizflächen einstellt, und wobei die Querschnittsfläche der ersten Zone (B1) von 0,4 bis 0,75 des gesamten Wirbelschichtreaktor-

Querschnitts umfasst; einen Bettmaterial-Abzugstrichter (D), der sich im Bereich unterhalb der Fluidisiergas-Verteiler (C1, C2) anschließt; und einen Freiraum oberhalb des Wirbelschichtreaktors (A), in dem Ausbrandluftdüsen (3) innerhalb von Ausbrandluft-Ebenen angeordnet sind.

**[0015]** In bevorzugten Ausführungsformen umfasst die Querschnittsfläche der ersten Zone (B1) von 0,55 bis 0,75 und weiter bevorzugt von 0,60 bis 0,75 des gesamten Wirbelschichtreaktor-Querschnitts.

**[0016]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Aufgabe durch einen Wirbelbettofen der stationären Bauart mittels eines asymmetrischen Betriebs gelöst. Durch Kombination von verschiedenen Merkmalen wird eine Kontrolle der Temperatur innerhalb des Wirbelbett-ofens erreicht, sodass insbesondere heizwertreiche Stoffe, die einen hohen Flüchtigengehalt aufweisen, mit der erfindungsgemäßen Apparatur verbrannt werden können.

**[0017]** Dies erfolgt durch die lokale Einbringung von Tauchheizflächen, unterschiedlichen Fluidisierungsgeschwindigkeiten in verschiedenen Zonen des Wirbelbetts und Steuerung des Sauerstoffangebots in zwei verschiedenen Zonen des Wirbelbetts, sodass ein asymmetrischer Betrieb und damit eine Zirkulation des Bettmaterials entlang der Tauchheizflächen erreicht werden. Die Steuerung des Sauerstoffangebots erfolgt durch die getrennte Einstellung unterschiedlicher Fluidisierungsgeschwindigkeiten, sowie durch die getrennte Steuerung der Sauerstoffkonzentration im Fluidisiergas je nach Zone des Wirbelbetts. Die lokal erhöhte Fluidisierungsgeschwindigkeit führt vorteilhafterweise dazu, dass die Anreicherung von Agglomeraten im Wirbelbett reduziert oder ganz verhindert und zumindest verlangsamt wird. Eine partiell höhere Fluidisierungsgeschwindigkeit in der Wirbelbettzone, in der keine Tauchheizflächen angebracht sind, sorgt zudem für eine bettinterne Zirkulation des Wirbelbettmaterials.

**[0018]** Die erfindungsgemäße Apparatur ermöglicht es gleichzeitig die Entfernung von Agglomeraten und Störstoffen zu sichern und die Nachverbrennung der aus dem Wirbelbett in den Freiraum gelangenden flüchtigen Bestandteile sicher zu stellen. Der Aufbau realisiert außerdem eine gestufte Verbrennung der Flüchtigen innerhalb des Wirbelbett-ofens, um lokale Temperaturspitzen im Freiraum zu vermeiden.

### Kurze Figurenbeschreibung

**[0019]**

**Figur 1** zeigt eine bevorzugte Variante des Wirbelschichtreaktors (A) zur Umsetzung von heizwertreichen Einsatzstoffen.

**Figur 2** zeigt die Einflussnahme auf die Betttemperatur durch Variation der Wirbelbetthöhe in einer Variante des Wirbelschichtreaktors (A).

**Figuren 3 und 4** zeigen verschiedene Möglichkeiten zur geometrischen Gestaltung der Querschnittfläche des Wirbelbettreaktors (A) und der Anordnung der Tauchheizflächen innerhalb der Querschnittfläche des Wirbelbettreaktors (A).

**Figur 5, 6 und 7** zeigen verschiedene Gestaltungsformen des unteren Bereichs des Wirbelschichtreaktors (A).

**Figur 8** zeigt eine mögliche Ausführungsform des Wirbelschichtreaktors (A), in der ein Leitzkörper (I) als zusätzliche Wärmeüberträgerfläche eingesetzt wird.

**Figur 9** zeigt eine mögliche Anordnung der Ausbrandluft-Düsen (3, 3') im Falle eines kreisförmigen Querschnitts des Wirbelschichtreaktors (A).

**Figur 10** zeigt eine mögliche Anordnung der Ausbrandluft-Düsen (3, 3') im Falle eines rechteckigen Querschnitts des Wirbelschichtreaktors (A).

### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

**[0020]** Wie oben erläutert betrifft die vorliegende Erfindung einen Wirbelbettofen der stationären Bauart umfassend einen Wirbelschichtreaktor (A), der eingerichtet ist ein fluidisiertes Wirbelbett auszubilden, umfassend eine erste Zone zur Wärmerückgewinnung (B1) umfassend einen fluidisierten Wirbelbettbereich mit Tauchheizflächen (E) und einen Fluidisiergas-Verteiler (C1) mit Fluidisiererelementen (6), eine zweite Zone zur Primärverbrennung (B2) umfassend einen fluidisierten Wirbelbettbereich ohne Tauchheizflächen und einen Fluidisiergas-Verteiler (C2) mit Fluidisiererelementen (6'); wobei die Fluidisierung des Wirbelbettbereiches der zweiten Zone (B2) eine höhere Geschwindigkeit aufweist als die der ersten Zone (B1), sodass sich eine Wirbelbett-interne Materialzirkulation (F) zwischen der ersten und zweiten Zone einstellt.

**[0021]** Gemäß der Erfindung umfasst die Querschnittfläche der ersten Zone (B1) des Wirbelbetts von 0,4 bis 0,75, bevorzugt von 0,55 bis 0,75 und weiter bevorzugt von 0,60 bis 0,75 des gesamten Wirbelschichtreaktor-Querschnitts.

**[0022]** Der Wirbelbettofen weist weiterhin einen Bettmaterial-Abzugstrichter (D) auf, der sich im Bereich unterhalb der Fluidisiergas-Verteiler (C1, C2) anschließt, und einen Freiraum oberhalb des Wirbelschichtreaktors (A), in dem Ausbrandluftdüsen (3) innerhalb von Ausbrandluft-Ebenen angeordnet sind.

**[0023]** In bevorzugten Ausführungsformen ist der Wirbelschichtreaktor ein blasenbildender Wirbelschichtreaktor.

**[0024]** "Brennstoffe" im Sinne dieser Erfindung sind grundsätzlich Stoffe gemeint, die einen gewissen Anteil an brennbarem Material enthalten, das wiederum die gespeicherte Energie durch Oxidation, meist in Form einer Verbrennung, in nutzbare Energie umwandelt. Dabei ist der Einsatz von festen, flüssigen, schlammartigen, pastösen oder gasförmigen Materialien grundsätzlich

möglich. Solche brennbaren Materialien können verschiedene Kohlen, Aufbereitungsschlamm, Ölkohlen oder Ölkoks sowie Abfälle aller Art und ähnliches umfassen. Ein großer Vorteil des erfindungsgemäßen Wirbelschichtofens zur Verbrennung von Brennstoffen ist die thermische Verwertung oder Beseitigung von Problemstoffen. Beispielsweise können Petrolkoks (viel Schwefel), Hühnermist (geringe Dichte), Deponiegas (heizwertarm) und vieles mehr umgesetzt werden. Als weitere Beispiele sind gemischte Haushaltsabfälle, Sperrmüll, Bau- und Abbruchabfälle, Altholz, Altfarben/-lacke, Altöl, gefährliche Abfälle, Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle, und andere Abfallarten zu nennen. Dazu können insbesondere auch heizwertreiche energetisch nutzbare Reststoffe eingesetzt werden, wie z.B. Tiermehl, Schredderleichtfraktion usw. Der Einsatz der unterschiedlichen Brennstoffe kann sowohl einzeln (Mono-Verbrennung) als auch in Kombination unterschiedlicher Brennstoffe erfolgen.

**[0025]** Wie oben bereits erläutert, umfasst die Querschnittfläche der ersten Zone (B1) gemäß der Erfindung von 0,4 bis 0,75 des gesamten Wirbelschichtreaktor-Querschnitts, bevorzugt von 0,55 bis 0,75, und weiter bevorzugt von 0,60 bis 0,75. Die Unterteilung der Zonen des Wirbelschichtreaktors erfolgt entsprechend so, wie es dem Fachmann ermöglicht, die beschriebene Erfindung auszuführen und den erfindungsgemäßen technischen Effekt herbeizuführen. Eine Möglichkeit der Abgrenzung der beiden Zonen (B1) und (B2) zueinander und Definition dieser Zonen für die Zwecke der Flächenberechnung, d.h. zur Unterteilung des Reaktorraumes bzw. des Wirbelbetts erfolgt wie im Folgenden beschrieben: der gesamte Querschnitt des Wirbelbetts wird dargestellt durch den horizontalen Querschnitt am oberen Ende des Wirbelbetts und wird durch eine imaginäre Linie in zwei Zonen (B1, B2) unterteilt. Die imaginäre Linie verläuft dabei mittig zwischen dem Fluidisiergas-Verteiler der ersten Zone (C1) und dem Fluidisiergas-Verteiler der zweiten Zone (C2), sodass die imaginäre Linie zu den Fluidisiergas-Düsen beider Fluidisiergas-Verteiler (C1, C2) jeweils gleich beabstandet ist.

**[0026]** Das Basisverhältnis des Flächenanteils der ersten Zone des Wirbelbetts (B1) zur gesamten Querschnittsfläche liegt bei 40% oder höher. Vorzugsweise ist bei Brennstoffen mit höheren Heizwerten ein Wirbelbett zu wählen, bei dem der Anteil der ersten Zone (B1) höher ist, sodass der Anteil der zweiten Zone (B2) im Vergleich zur gesamten Querschnittsfläche entsprechend kleiner ist. In solchen Ausführungsformen, in denen der Anteil der ersten Zone (B1) mehr als 50% bezogen auf den Reaktorquerschnitt beträgt, ist die imaginäre Linie, die die beide Zonen voneinander trennt, in Richtung der zweiten Zone (B2) verschoben, sodass eine asymmetrische Anordnung der Flächen (B1, B2) entlang der Achse, die durch die imaginäre Linie gebildet wird, entsteht. Der Flächenanteil der ersten Zone (B1) beträgt vorzugsweise 55 % oder höher, besonders bevorzugt 60% oder höher, vom gesamten Reaktorquerschnitt.

**[0027]** Die Zonen des Wirbelbetts weisen erfindungsgemäß unterschiedliche Fluidisierungsgeschwindigkeiten auf. Eine erste Zone besitzt eine Fluidisierungsgeschwindigkeit, die kleiner der Fluidisierungsgeschwindigkeit der zweiten Zone ist. Dadurch bildet sich eine bettinterne Materialzirkulation (F) aus. Infolge der höheren Materialzirkulation werden das gesamte Bettmaterial und damit auch die im gesamten Bettmaterial verteilten Brennstoffpartikel erfasst. Durch die höhere Fluidisierung in der zweiten Zone (B2) erhöht sich in dieser Zone auch das Sauerstoffangebot. Dadurch kann sich dort die Verbrennung intensivieren. Durch die interne Zirkulation gelangen die brennenden Partikel in alle Bereiche des Wirbelbetts. Daher erfolgt die Verbrennung des Brennstoffs vorzugsweise, lokal mehr oder weniger intensiv, im gesamten Wirbelbett.

**[0028]** Im Allgemeinen findet die Bildung von Agglomeraten während des Wirbelbett-Betriebs statt. Der erfindungsgemäße Wirbelbettofen ist in der Lage, die Bildung der Agglomerate zumindest teilweise zu verhindern, diese alternativ zu zerstören, oder sie ansonsten über den Abzugstrichter zu entfernen. Die höhere Fluidisierungsgeschwindigkeit innerhalb der zweiten Zone ruft höhere Impulse z.B. zwischen Bettmaterial und Agglomeraten hervor, sodass eine intensivere Bettmaterialbewegung entsteht und dadurch die Auflösung von Agglomeraten begünstigt wird.

**[0029]** Das Bettmaterial, also der Feststoff, der fluidisiert wird, um ein Wirbelbett im Wirbelschichtreaktor auszubilden, ist ein Stoff oder ein Stoffgemisch, der selbst nicht an der Verbrennung teilnimmt. Das Bettmaterial wird meistens aus Asche, dem festen Rückstand aus der Verbrennung organischen Materials, und beispielsweise Kiesen (Sand) gebildet, wobei ungefähr ein bis drei Gewichtsprozent des eingesetzten Brennstoffs zugefügt werden. Das Bettmaterial führt mit der Zeit zur Erosion, also der mechanischen Abzehrung feuerfester Baustoffe, z.B. der innerhalb des Wirbelbetts angeordneten Tauchheizflächen. Neben positiven Nebeneffekten, z.B. der Reinigung des Feuerraums, ist die Erosion eher negativ zu bewerten und führt zu hohem Materialverschleiß. Dieser Effekt nimmt proportional zur Fluidisierungsgeschwindigkeit zu.

**[0030]** In bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist in der gekühlten Zone des Wirbelbetts (B1) die langsamere Fluidisierung zur Minimierung der Erosion an den dort angeordneten Tauchheizflächen vorgesehen. In der benachbarten Zone des Wirbelbetts (B2) wird dagegen schneller fluidisiert, um die Feststoffzirkulation anzutreiben und um gegebenenfalls gebildete Agglomerate wieder aufzulösen.

**[0031]** Der erfindungsgemäße Wirbelbettofen stationärer Art wird mindestens in Bezug auf die Fluidisiergasmengen-Verteilung innerhalb des Wirbelbettmaterials asymmetrisch betrieben. Die zugeführte spezifische Fluidisiergasmenge in der ersten Zone des Wirbelbettes (B1) ist entsprechend kleiner als die spezifische Fluidisiergasmenge der zweiten Zone des Wirbelbetts (B2),

wobei die spezifische Fluidisiergasmenge der Menge des Fluidisiergases in kg pro m<sup>2</sup> der Wirbelbettfläche entspricht. Vorzugsweise ist der Wirbelbettofen so angeordnet, dass die spezifische Fluidisiergasmenge bezogen auf die Wirbelbettfläche der zweiten Zone (B2) mindestens 150% der spezifischen Fluidisiergasmenge bezogen auf die Wirbelbettfläche der ersten Zone (B1) beträgt.

**[0032]** Eine noch mehr bevorzugte Ausführungsform umfasst einen Wirbelbettofen, der so konstruiert ist, dass die spezifische Fluidisiergasmenge bezogen auf die Wirbelbettfläche der zweiten Zone (B2) mindestens 200% der spezifischen Fluidisiergasmenge bezogen auf die Wirbelbettfläche der ersten Zone (B1) beträgt.

**[0033]** Absolute Werte der spezifischen Fluidisiergasmengen sind abhängig von verschiedenen Parametern wie z.B. der Bettpartikelgrößenverteilung, Betttemperatur, Zusammensetzung des Fluidisiergases, auszuwählen.

**[0034]** Um die unterschiedlichen Fluidisierungsgeschwindigkeiten zu erreichen werden die Zonen des Wirbelbetts individuell über Fluidisiergas-Verteiler (C1, C2) mit Primärluft versorgt. Die Primärluft entspricht dem Fluidisierungsgas, das sich entweder nur aus Luft oder aus einer Mischung von Luft und rezirkuliertem Rauchgas zusammensetzt. Das rezirkulierte Rauchgas entspricht dabei in der Regel lediglich einem Teil des Gasgemischs, welches während des Verbrennungsprozesses von Stoffen im Wirbelschichtofen entsteht, aufgefangen und dem Wirbelbettofen zur Verbrennung weiterer Stoffe wieder zugeführt wird. Das rezirkulierte Rauchgas kann dabei an verschiedenen Stellen entnommen werden, sodass es ungekühlt, gekühlt (z.B. nach einem Dampferzeuger und/oder nach einem Luftvorwärmer), nach der Gasreinigung, oder an einer anderen Stelle nach der Feuerung aufgefangen und dem Wirbelbettofen zur Verbrennung weiterer Stoffe wieder zugeführt wird. In bevorzugten Ausführungen wird in jede Zone eine individuelle Menge des rezirkulierten Rauchgases in die Primärluft (= Fluidisierungsluft) eingemischt. Dadurch ist die Einstellung unterschiedlicher, bezogen auf den Querschnitt des Wirbelschichtreaktors (A) asymmetrischer, Sauerstoffkonzentrationen bei gleichzeitig schnellerer Fluidisierung möglich.

**[0035]** In bevorzugten Ausführungsformen ist der Wirbelbettofen so konstruiert, dass das Fluidisiergas, welches über die Fluidisiergas-Verteiler der ersten Zone (B1) und der zweiten Zone (B2) des Wirbelbetts zugeführt wird, unabhängig voneinander aus Luft und/oder rezirkuliertem Rauchgas zusammengesetzt ist.

**[0036]** Die schneller fluidisierte Zone (B2) des Wirbelbetts ist vorzugsweise ohne Einbauten gestaltet. Das bringt den Vorteil mit sich, dass höhere Gasgeschwindigkeiten, also durch eine stärkere Fluidisierung, ein höherer Feststoffanteil aufwärts strömt. Da die fluidtechnisch verbundene erste Zone (B1) des Wirbelbetts eine verglichen zur zweiten Zone (B2) langsamere Fluidisierung des Bettmaterials aufweist, entsteht eine Sogrich-

tung des Bettmaterials in die schnellere Zone (B2), so dass eine interne Materialzirkulation und damit eine gute Durchmischung stattfinden. Die Kühlung des Bettmaterials der ersten Zone (B1) mithilfe von Tauchheizflächen (E), sorgt außerdem dafür, dass durch die interne Materialzirkulation die Temperatur der zweiten Zone (B2) auch gesenkt wird.

**[0037]** Der Anteil an rezirkuliertem Rauchgas in der Primärluft wird vorteilhafterweise je nach Bedarf angepasst und zur Temperaturregulierung genutzt. Vorzugsweise ist der Anteil des rezirkulierten Rauchgases so zu wählen, dass in der schnelleren Zone des Wirbelbetts (B2) eine Temperatur von 950°C nicht überschritten wird.

**[0038]** Die Primärluft wird in bevorzugten Ausführungen zu gewählt, dass der Sauerstoffanteil gestuft vorliegt. Dabei setzt sich der dem Wirbelbettöfen gesamte zugeführte Sauerstoff  $\Lambda_{Ges}$  aus dem Sauerstoff, der in beide Zonen des Wirbelbetts B1 und B2 eingebracht  $\Lambda_B$  wird, und aus dem Sauerstoff, der in den Freiraum gegeben wird, zusammen. Die Sauerstoffanteile sind, wenn nicht anders vermerkt, jeweils bezogen auf den stöchiometrischen Sauerstoffbedarf zur Verbrennung des gesamt eingebrachten Brennstoffs  $O_{min}$ . In besonders bevorzugten Ausführungsformen besitzt  $\Lambda_{Ges}$  einen Wert von 1,05 bis 1,4 und  $\Lambda_B$  einen Wert von 0,35 bis 0,9, vorzugsweise von 0,4 bis 0,8. Über die Luft im Freiraum des Wirbelbettöfens, also die Ausbrandluft aller Ebenen, wird die verbleibende Menge des benötigten Sauerstoffs  $\Lambda_{ABL}$  hinzugegeben. Das  $\Lambda_{ABL}$  setzt sich zusammen aus der Differenz zwischen  $\Lambda_{Ges}$  und  $\Lambda_B$ , sodass gilt  $\Lambda_{ABL} = \Lambda_{Ges} - \Lambda_B$ .

**[0039]** Es ist weiterhin bevorzugt, dass der Wirbelbettöfen so angeordnet ist, dass der Sauerstoffanteil  $\Lambda_B$ , der direkt in das Wirbelbett hinzugegeben wird, aus dem in den Wirbelbettbereich der ersten Zone (B1) eingebrachten Sauerstoff  $\Lambda_{B1}$ , aus dem in den Wirbelbettbereich der zweiten Zone (B2) eingebrachten Sauerstoff  $\Lambda_{B2}$  und dem in den Freiraum eingebrachten Sauerstoff, jeweils bezogen auf den stöchiometrischen Sauerstoffbedarf  $O_{min}$  zur Verbrennung des gesamt eingebrachten Brennstoffs, zusammengesetzt ist, wobei  $\Lambda_{B1}$  größer als das  $\Lambda_{B2}$  ist. Vorzugsweise ist  $\Lambda_{B1}$  um 10% bis 30% größer als  $\Lambda_{B2}$ . Auf diese Art kann der Betrieb des Wirbelbettöfens in Bezug auf die Sauerstoffverhältnisse innerhalb des Wirbelbettöfens asymmetrisch erfolgen.

**[0040]** In vorteilhaften Ausführungen sind die Fluidisierelemente eines Fluidisiergas-Verteilers innerhalb einer Ebene unterhalb des Wirbelbetts angeordnet, wobei zwischen den einzelnen Fluidisierelementen ein Abstand ist, sodass alle Fluidisiergas-Verteiler für gebildete Agglomerate, Bettmaterial und/oder Störstoffe durchlässig sind. In dieser Ausführungsform ist der Fluidisiergas-Verteiler so konstruiert, dass nur Agglomerate passieren können, die nicht größer als der Abstand zwischen den Fluidisierelementen sind. Durch diese vorteilhafte Anordnung (im Folgenden auch offener Fluidisiergas-Verteiler oder offener Düsenboden bezeichnet) können Störstoffe und/oder Agglomerate kontinuierlich entfernt werden, da

diese ansonsten eine Fluidisierungsstörung hervorrufen. Zwischen den einzelnen Fluidisierelementen ist folglich ein Abstand, durch den Agglomerate, Bettmaterial und/oder Störstoffe zwischen den Düsenelementen mit der Schüttung nach unten abgezogen und somit aus dem System abtransportiert werden.

**[0041]** Bevorzugt bilden die Fluidisierelemente des Fluidisiergas-Verteilers (C1) der ersten Zone (B1) eine um einen Winkel von 1° bis 75° in Richtung der Zone (B2) abfallend geneigte Ebene aus, wobei die Ebene der Fluidisierelemente des Fluidisiergas-Verteilers (C2) der zweiten Zone (B2) bevorzugt horizontal ausgerichtet ist.

**[0042]** Die Fluidisierelemente sind vorzugsweise einzelne Düsen, die jeweils mit einem Fluidisiergas versorgt werden. Besonders bevorzugt ist, dass die Fluidisierelemente Düsen sind, die auf einem Düsenbalken sitzen, der mit Fluidisiergas für die Anzahl der auf dem Balken sitzenden Düsen versorgt wird. Der Düsenbalken ist vorzugsweise gerade, gebogen oder ringförmig ausgeführt. Es ist vorteilhaft, dass der Wirbelbettöfen so konstruiert ist, dass ausgehend von der langsam fluidisierten Zone des Wirbelbetts (B1) die Fluidisier-Elemente abwärts in Richtung der schnell fluidisierten Zone des Wirbelbetts (B2) angeordnet sind (siehe auch Figur 6). So wird die interne Wirbelbettzirkulation zusätzlich unterstützt.

**[0043]** Im Stand der Technik wird häufig ein geschlossener Düsenboden, der z.B. aus Diffusorplatten gebildet wird, eingesetzt. Ein geschlossener Düsenboden, z.B. die Summe der Diffusorplatten, hat zwischen den Fluidisierelementen, z.B. Düsen, keinen Durchgang, sodass das Bettmaterial in diesem Fall entlang des geschlossenen Düsenbodens mittels einer zentral oder seitlich gelegenen Öffnung abtransportiert wird. Das hat den Nachteil, dass insbesondere Brennstoffe, die höhere Mengen an Störstoffen, z.B. nicht brennbare Materialien oder Agglomerate, enthalten, nicht mit umgesetzt werden können.

**[0044]** Vorteilhafte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Wirbelschichtöfens enthalten außerdem mindestens eine Seitenwand des Wirbelschichtreaktors (A), vorzugsweise im Bereich des Wirbelbetts der ersten Zone (B1), die um einen Öffnungswinkel  $\alpha$  gegenüber der Senkrechten nach oben hin ausgeweitet angeordnet ist. Der Öffnungswinkel  $\alpha$  liegt bei 0° oder mehr, vorzugsweise bei 5° oder mehr, weiter bevorzugt bei 15° oder mehr. Die asymmetrische Anordnung der Seitenwände des Wirbelschichtreaktors begünstigt grundsätzlich die Feststoffströmung durch das Wirbelbett, insbesondere aber die abwärtsströmende Bewegung der groben Partikel am Rand der ersten Zone des Wirbelbetts.

**[0045]** Bevorzugt ist es außerdem, die Eintauchtiefe der Tauchheizflächen (E) und damit deren mögliche Wärmeaufnahme variabel zu gestalten. Die Höhe des Wirbelbetts anzupassen wird vorzugsweise so gewählt, dass die Tauchheizflächen (E) im Wirbelbett der ersten Zone (B1) entweder vollständig vom Bettmaterial umgeben sind oder zu einem Teil in den freien Raum des Wirbelschichtöfens ragen. Wenn die gesamten Tauchheiz-

flächen vom Bettmaterial umgeben sind, kann die höchste Wärmemenge absorbiert werden. Mit steigendem Anteil der unbedeckten Tauchheizfläche nimmt auch der Anteil der absorbierten Wärmemenge ab, sodass der Kühleffekt der Tauchheizflächen auf die Temperatur des Wirbelbetts entsprechend abnimmt. So kann die Temperatur im Wirbelbett abhängig von den Brenneigenschaften der zu verbrennenden Stoffe reguliert werden.

**[0046]** In einigen bevorzugten Ausführungsformen ist im Wirbelbett zwischen dem Wirbelbett der ersten Zone (B1) und dem Wirbelbett der zweiten Zone (B2) mindestens ein im Wesentlichen vertikal angeordneter Leitkörper (I) eingetaucht, so dass zum Düsenboden und zur Wirbelbettoberfläche ein Abstand vorhanden ist, wobei die geometrische Grundfläche des Leitkörpers (I) flächenförmig oder dreidimensional geformt vorliegt. Vorzugsweise dient der Leitkörper (I) als zusätzliche Wärmeüberträgerfläche. Weiterhin bevorzugt ist der Leitkörper (I) mit verjüngt zulaufenden Anströmseiten unten und abgerundeter Abströmseite oben, geformt. Wenn der Wirbelbettofen einen Leitkörper (I) aufweist, führt dieser zu einer Verstärkung der Umwälzung im gesamten Wirbelbett.

**[0047]** Der technische Effekt des Leitkörpers (I) kommt nur zur Geltung, wenn die Tauchheizflächen senkrecht zur Seitenfläche des Leitkörpers angeordnet sind, wie es in Figur 8 dargestellt ist. Indem die Tauchheizflächen so gestaltet sind wie in Figur 3 und Figur 4 jeweils die rechte Abbildung offenbart, erfüllen die Tauchheizflächen vorzugsweise selbst die Funktion des Leitkörpers (I).

**[0048]** Der Wirbelbettofen weist einen Abzugstrichter für den Abzug von Bettmaterial, Asche und Störstoffen auf. In bevorzugten Ausführungsformen, kann die Öffnung des Bettmaterial-Abzugstrichters (D) unterhalb der ersten Zone (B1), unterhalb der zweiten Zone (B2) oder zentriert unterhalb des Wirbelschichtreaktors (A) angeordnet sein. Die Wände des Bettmaterialabzugstrichters (D) werden vorzugsweise als zusätzliche Wärmeüberträgerflächen ausgeführt. Ebenso sind in bevorzugten Ausführungen die Wände des Wirbelschichtreaktors (A) ganz oder teilweise als Wärmeüberträgerflächen, vorzugsweise als Verdampfer, gestaltet.

**[0049]** Der Bettmaterial-Abzugstrichter (D) umfasst in besonders bevorzugten Ausführungen zusätzliche Gaszufuhr-Düsen. Dadurch wird einerseits eine lokale Auflockerung und/oder Fluidisierung des Bettmaterials erreicht, damit der Abtransport des Feststoffs, z.B. des Störstoffs, der Asche und/oder des Bettmaterials, sicher gestellt ist. Die zusätzliche Gas-Zufuhr in den Abzugstrichter (D) führt außerdem zu einer weiteren Abkühlung des abzuziehenden Feststoffs. Das begünstigt die Ausschleusung des Feststoffs zusätzlich ohne die Wärmemenge innerhalb des Reaktors zu beeinflussen, denn das durch den Trichter (D) eingeströmte Gas kühlt den abzuziehenden Feststoff und steigt anschließend aufgewärmt in die Wirbelschicht auf.

**[0050]** Der Wirbelschichtofen weist erfindungsgemäß

einen Freiraum oberhalb des Wirbelschichtreaktors (A) auf, in dem Ausbrandluftdüsen (3) innerhalb von AusbrandluftEbenen angeordnet sind. Diese Ausbrandluftdüsen (3) sind vorzugsweise innerhalb einer Ausbrandluftebene tangential auf einen im Freiraum des Reaktorquerschnitts liegenden imaginären Tangentialkreis (G) ausgerichtet.

**[0051]** Der Freiraum des Wirbelschichtreaktors (A) umfasst mindestens eine zweite Ausbrandluftebene, deren Ausbrandluftdüsen (3') tangential auf einen im Freiraum des Reaktorquerschnitts liegenden imaginären Tangentialkreis (H) ausgerichtet sind, wobei der Tangentialkreis (G) der ersten Ausbrandluftebene einen anderen Durchmesser aufweist als der Tangentialkreis (H) der zweiten Ausbrandluftebene. Die Ausbrandluftdüsen (3') der zweiten Ausbrandluftebene sind in besonders bevorzugten Ausführungsformen auf gleicher Höhe oder oberhalb der Ausbrandluftdüsen (3) der ersten Ausbrandluftebene angeordnet.

**[0052]** Die Freiraum umfassend die Ausbrandluftebenen oder die Ausbrandluftebene bildet eine sogenannte Ausbrandzone im Freiraum des Wirbelbettofens oberhalb des Wirbelbettes. Das Gas zur Nachverbrennung wird auch als Ausbrandluft bezeichnet und kann entweder aus Luft, Luft gemischt mit rezirkuliertem Rauchgas, oder Luft gemischt mit anderen Gasen, wie z.B. Brüden und Ablüfte, bestehen. Die Ausbrandluft wird mittels hohem Impuls und tangential ausgerichtet in die Ausbrandzone eingeströmt, um eine verdrehte Strömung, d.h. ineinander verdrehte Gasströme, und damit eine gute Durchmischung der Gase im Freiraum zu erhalten.

**[0053]** Die Anzahl der Ausbrandluftebenen wird je nach Erfordernis gewählt. Das Erfordernis ergibt sich aus dem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen der eingesetzten Brennstoffe. Je höher der Flüchtigengehalt und damit auch der Anteil der benötigten Ausbrandluft oberhalb des Wirbelbettes, desto mehr Ebenen mit Ausbrandluft sind vorzugsweise vorzusehen. Die Gestaltung von mehreren Ausbrandluftebenen hat den Vorteil, dass die Nachverbrennung der flüchtigen Bestandteile so gestuft wird, dass die Temperaturen innerhalb des Wirbelbettofens eine gewisse Obergrenze, die vom Brennstoff selbst abhängt, nicht übersteigen.

**[0054]** Der sichere Anlagenbetrieb bei Brennstoffen mit problematischen Brennstoffeigenschaften kann außerdem durch verschiedene weitere Maßnahmen zur Reduzierung der Agglomerationsneigung gewährleistet werden. Neben der Verwendung von niedrigeren Betttemperaturen, ist ein geeignetes Wirbelbettmaterial entsprechend zum eingesetzten Brennstoff auszuwählen, damit die Agglomerationsneigung verhindert oder zumindest reduziert wird.

**[0055]** Auch ein regelmäßiger oder zumindest in Teilen kontinuierlicher Austausch des Wirbelbettmaterials durch frisches Material ist denkbar. Dem Wirbelbett können zusätzlich Additive, z.B. mineralische Stoffe, zugesetzt werden, um die Bildung von flüssigen oder klebrigen Phasen innerhalb des Wirbelschichtreaktors zu re-

duzieren oder verhindern.

**[0056]** Eine erhöhte Fluidisierungsgeschwindigkeit kann auch zur Verhinderung oder zumindest zur Verlangsamung der Anreicherung von Agglomeraten beitragen, da durch die stärkere Bettbewegung und die größeren Impulse bereits gebildete Agglomerate wieder aufgelöst werden können. Gleichzeitig kann die stärkere Fluidisierung die Vergleichmäßigung der Temperatur unterstützen.

**[0057]** Die Erfindung richtet sich außerdem auf ein Verfahren zum Betreiben des beschriebenen Wirbelbettofens. Insbesondere richtet sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Verbrennen von Stoffen in einem Wirbelbett-Ofen der stationären Bauart, wobei die Stoffe in einen Wirbelschichtreaktor (A) gegeben werden und verbrannt werden, wobei der Wirbelschichtreaktor (A) ein fluidisiertes Wirbelbett ausbildet, umfassend eine erste Zone zur Wärmerückgewinnung (B1) umfassend einen fluidisierten Wirbelbettbereich mit Tauchheizflächen (E) und einen Fluidisiergas-Verteiler (C1) mit Fluidisiererelementen (6), und eine zweite Zone zur Primärverbrennung (B2) umfassend einen fluidisierten Wirbelbettbereich ohne Tauchheizflächen und einen Fluidisiergas-Verteiler (C2) mit Fluidisiererelementen (6') umfasst, wobei die Fluidisierung des Wirbelbettbereiches der zweiten Zone (B2) eine höhere Geschwindigkeit aufweist als die der ersten Zone (B1), sodass sich eine Wirbelbett-interne Materialzirkulation (F) zwischen der ersten und zweiten Zone entlang der Tauchheizflächen einstellt, und wobei die Querschnittsfläche der ersten Zone (B1) von 0,4 bis 0,75, des gesamten Wirbelschichtreaktor-Querschnitts umfasst; und wobei Störstoffe, Agglomerate und/oder das Bettmaterial über einen Bettmaterial-Abzugstrichter (D), der sich im Bereich unterhalb der Fluidisiergas-Verteiler (C1, C2) anschließt, abgezogen werden; und wobei in einem Freiraum oberhalb des Wirbelschichtreaktors (A), in dem Ausbrandluftdüsen (3) innerhalb von Ausbrandluft-Ebenen angeordnet sind, eine Nachverbrennung durchgeführt wird.

**[0058]** Während der Verbrennung stellen sich eine Wirbelbetttemperatur und eine Freiraumtemperatur ein, die sich deutlich voneinander unterscheiden. Abhängig von dem jeweiligen Brennstoff und seinen Brennstoffeigenschaften sowie der Art und Menge der flüchtigen Substanzen, kann das Wirbelbett z.B. bei Temperaturen von unterhalb 800°C, oberhalb von 850°C oder zwischen 800°C und 950°C betrieben werden. Bei der Wahl der Temperaturen außerdem gesetzliche Vorgabe und Bestimmung zu berücksichtigen. Darüber hinaus können die Temperaturen frei gewählt werden. Dabei werden die Flüchtigen überwiegend im Freiraum verbrannt.

**[0059]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden bevorzugt Wirbelbettöfen verwendet, wobei die Querschnittsfläche der ersten Zone (B1) des Wirbelbetts von 0,55 bis 0,75 und weiter bevorzugt von 0,60 bis 0,75 des gesamten Wirbelschichtreaktor-Querschnitts beträgt.

**[0060]** Das Verfahren weist vorzugsweise einen Sau-

erstoffanteil  $\Lambda_B$ , der direkt über das Wirbelbett hinzugegeben wird, auf. Dieser setzt sich zusammen aus dem in den Wirbelbettbereich der ersten Zone (B1) eingebrachten Sauerstoff  $\Lambda_{B1}$ , aus dem in den Wirbelbettbereich der zweiten Zone (B2) eingebrachten Sauerstoff  $\Lambda_{B2}$  und dem in den Freiraum eingebrachten Sauerstoff, jeweils bezogen auf den stöchiometrischen Sauerstoffbedarf  $O_{min}$  zur Verbrennung des gesamt eingebrachten Brennstoffs, wobei  $\Lambda_{B1}$  größer  $\Lambda_{B2}$  ist. In bevorzugten Ausführungsformen des Verfahrens ist  $\Lambda_{B1}$  um 10% bis 30% größer als  $\Lambda_{B2}$ .

**[0061]** In einigen Ausführungsformen wird in die zweite Zone (B2) mindestens 150% der spezifischen Fluidisierungsmenge der ersten Zone (B1) eingeströmt. In besonders bevorzugten Ausführungsformen wird in die zweite Zone (B2) mindestens 200% der spezifischen Fluidisierungsmenge der ersten Zone (B1) eingeströmt.

**[0062]** Die Fluidisiererelemente eines Fluidisiergas-Verteilers sind vorzugsweise innerhalb einer Ebene unterhalb des Wirbelbetts angeordnet. Zwischen den einzelnen Fluidisiererelementen ist ein Abstand vorteilhaft, so dass gebildete Agglomerate, Bettmaterial und/oder Störstoffe zwischen den einzelnen Fluidisiererelementen des Fluidisiergas-Verteilers durchgeführt werden.

**[0063]** Vorzugsweise werden Störstoffe, Agglomerate und/oder das Bettmaterial kontinuierlich über den Bettmaterial-Abzugstrichter (D) abgezogen.

**[0064]** Das Verfahren umfasst in bevorzugten Ausführungen das tangentielle Einströmen eines Gases zur Nachverbrennung auf einen im Freiraum des Reaktorquerschnitts liegenden imaginären Kreises (G).

**[0065]** Erfindungsgemäß soll die Brennstoffaufgabe vorzugsweise so erfolgen, dass eine möglichst gleichmäßige Verteilung in oder auf das Wirbelbett erfolgt. Dabei wird bevorzugt das ganze Volumen des Wirbelbetts für die Brennstoffumsetzung verwendet. Die interne Zirkulation wird vorzugsweise gleichmäßig gestaltet und der Brennstoff homogen verteilt. Die Brennstoff verschiedener Art werden entweder einzeln oder nacheinander zur Verbrennung hinzugegeben (Mono-Verbrennung) oder gleichzeitig in Kombination.

**[0066]** Der erfindungsgemäße Wirbelbett-Ofen und das Verfahren zum Verbrennen von Stoffen in diesem Wirbelbett-Ofen sind grundsätzlich anwendbar für alle brennbaren Stoffe. Normalerweise führt die Verbrennung von Brennstoffen mit derart hohen Heizwerten in klassischen Wirbelbettöfen der stationären Bauart zu Problemen, wie z.B. unkontrollierbaren lokalen Temperaturspitzen und erhöhter Agglomerationsbildung. Vorteilhafte Anwendung des Wirbelbett-Ofens findet bei Brennstoffen mit einem mittleren Heizwert von mehr als 15 MJ/kg im Zustand bei Einbringung in die Wirbelschicht. Vorzugsweise kann der Wirbelbett-Ofen zur Verbrennung von Brennstoffen mit einem Heizwert von mehr als 20 MJ/kg im Zustand bei Einbringung in die Wirbelschicht verwendet werden.

**[0067]** Der erfindungsgemäße Wirbelbett-Ofen und das Verfahren zum Verbrennen von Stoffen in diesem Wir-



belbettöfen sind außerdem vorteilhaft anwendbar, wenn Brennstoffe eingesetzt werden, mit einem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen von mehr als 50 Gew.-% bezogen auf die wasser- und aschefreie Brennstoffsubstanz im Zustand bei Einbringung in die Wirbelschicht. Noch vorteilhafter ist die Erfindung für Brennstoffe mit einem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen von mehr als 70 Gew.-% bezogen auf die wasser- und aschefreie Brennstoffsubstanz im Zustand bei Einbringung in die Wirbelschicht.

**[0068]** In den folgenden Figuren werden bevorzugte Aspekte des Wirbelschichtofens gemäß der vorliegenden Erfindung näher beschrieben:

**Figur 1** zeigt eine bevorzugte erfindungsgemäße Variante des Wirbelschichtreaktors (A) zur Umsetzung von heizwertreichen Einsatzstoffen. Dabei können unterschiedliche Mengen von Fluidisiergas (6 und 6'), bestehend aus Verbrennungsluft (1, 1') oder aus einer Mischung aus Verbrennungsluft und rezirkuliertem Rauchgas (2, 2') eingesetzt werden, sodass sich ein Wirbelbettbereich mit langsamer Fluidisierung (B1) und sich ein Wirbelbettbereich mit schneller Fluidisierung (B2) ausbildet. Im Bereich langsamer Fluidisierung (B1) werden zudem Tauchheizflächen (E) eingesetzt, um Reaktionswärme aus dem Bett abzuführen und damit die Betttemperatur auf den gewünschten Wert einzustellen.

**[0069]** Im Bereich der schnellen Fluidisierung (B2) wird die Ausströmgeschwindigkeit des Fluidisierungsgases (6') höher, vorzugsweise sehr viel höher, als die Ausströmgeschwindigkeit des Fluidisierungsgases (6) des langsameren Bereichs (B1) angesetzt. Dadurch werden in diesem Bereich (B2) wesentlich höhere Impulse auf die Partikel ausgeübt, sodass die Quervermischung zwischen langsamem Bett (B1) und schnellem Bett (B2) intensiviert wird. Die Pfeile (F) stellen die Hauptzirkulation im Wirbelbett dar. Während im Bereich der schnellen Fluidisierung (B2) die Aufwärtsbewegung des Bettmaterials forciert wird, sinkt im langsam fluidisierten Teil (B1) das Bettmaterial vorzugsweise wieder ab.

**[0070]** Durch den offenen Gasverteiler (C1, C2) können grobe Partikel, Agglomerate oder auch Störstoffe in den Bettmaterial-Abzugstrichter (D) gelangen und von dort zusammen mit Bettmaterial unten kontinuierlich oder diskontinuierlich abgezogen werden (4). Um die Verbrennung zu vervollständigen und um die aus dem Bett ausgetragenen flüchtigen Bestandteile und optional Kokspartikel noch umsetzen zu können, wird im Freiraum oberhalb des Wirbelbettes noch Verbrennungsluft als sogenannte Ausbrandluft (3) zugegeben.

**[0071]** In **Figur 2** ist die Einflussnahme auf die Betttemperatur durch Variation der Wirbelbetthöhe dargestellt. Um die mittels der Tauchheizflächen (E) gekoppelte Wärme zu beeinflussen, steht neben der Beeinflussung der Brennstoffumsetzung im Bett durch Anpassung des zur Verfügung stehenden Sauerstoffgehalts auch die Methode der Absenkung des Wirbelbettes zur Verfügung. Im dargestellten Fall wird die Wirbelbetthöhe abgesenkt, wodurch sich weniger Tauchheizfläche

im Bett befindet, wo die hohen Wärmeübergangskoeffizienten herrschen, und dadurch die Wärmeaufnahme reduziert wird. Analog dazu zeigt **Figur 1** eine komplett eingetauchte Heizfläche, die somit die maximal mögliche Wärmemenge aufnehmen kann. Der prinzipielle Betrieb entspricht der Beschreibung zu **Figur 1**.

**[0072]** **Figur 3 und 4** zeigen die geometrische Gestaltung der Wirbelbett-Querschnittsfläche. Diese kann rund, quadratisch oder rechteckig konstruiert werden. In **Figur 3** sind verschiedenen erfindungsgemäße Varianten der Anordnung der Tauchheizflächen (E) in einem runden Reaktorquerschnitt dargestellt.

**[0073]** In **Figur 4** sind verschiedene erfindungsgemäße Varianten der Anordnung der Tauchheizflächen (E) in einem rechteckig ausgeführten Reaktorquerschnitt dargestellt.

**[0074]** In **Figur 5** ist lediglich der untere Bereich des Wirbelbettes dargestellt. In der gezeigten Ausführungsform ist der Bettmaterialabzug (4) geometrisch unterhalb des schnell fluidisierten Bettes (B2) angeordnet. Diese Ausführungsform ist dann zu favorisieren, wenn z.B. größerer Störstoffe im Einsatzmaterial erwartet werden. Durch die erhöhte Fluidisierungsgeschwindigkeit kann auch der Austrag grober Störstoffe durch den offenen Düsenboden in Richtung Bettmaterialabzug sichergestellt werden.

**[0075]** Durch die Zugabe von zusätzlichem Gas (7, 7') in den Bettmaterial-Abzugstrichter (4) kann einerseits der Abzug, also das Ausfließen des Bettmaterials durch lokale Auflockerung aufgrund der Gaszugabe, erreicht werden. Gleichzeitig findet eine Kühlung des abziehenden Bettmaterials durch die Gaszugabe (7, 7') statt. Das zusätzliche Gas, auch Trichtergas genannt (7, 7'), kann aus Luft (1, 1'), aus rezirkuliertem Rauchgas (2, 2') oder aus einer beliebigen Mischung daraus bestehen.

**[0076]** Ebenso kann die zugegebene Menge Trichtergas lokal in den Trichter (4) unterschiedlich sein. Ausschlaggebend hierfür ist inwieweit eine Abkühlung erforderlich ist und inwieweit eine Zugabe zur Sicherstellung des mechanischen Transport entlang der Trichterschräge erforderlich ist. So könnte beispielsweise in der Darstellung der **Figur 5** auf die Zugabe des Trichtergases (7') aus Transportgründen verzichtet werden, da hier die Trichterschräge sehr steil ist, wodurch ein Abtransport und "Rutschen" des Materials sichergestellt ist. Auf Seite der Zugabe (7) ist jedoch eine Zugabe des Trichtergases vorteilhaft, um durch lokale Auflockerung den Materialtransport in Richtung Abzug (4) zu unterstützen. Auf beiden Seiten kann aber trotzdem die Zugabe von Trichterluft (7, 7') erwünscht sein, um eine Abkühlung des Materials vor der Ausschleusung zu bewirken.

**[0077]** In **Figur 6** ist lediglich der untere Bereich des Wirbelbettes dargestellt. In der dargestellten Variante ist die Anordnung des Gasverteilers (C) so gewählt, dass ausgehend vom langsam fluidisierten Bett (B1) die Gasverteiler-Elemente abfallend in Richtung des schnell fluidisierten Teils des Bettes (B2) angeordnet sind. Dadurch kann die Zirkulation des Wirbelbettmaterials, dargestellt

durch die Pfeile (F), maßgeblich unterstützt werden.

**[0078]** **Figur 7** zeigt eine modifizierte Ausführungsform des Wirbelbetts gemäß **Figur 6**. Während die einfachste Form gemäß der vorliegenden Erfindung eine senkrechte Gestaltung der Seitenwände im Bettbereich entweder mit rundem Querschnitt, oder mit einem rechteckigen, oder mit einem quadratischen Querschnitt darstellt, so ist es vorteilhaft, wenn die Seitenwände anders gestaltet werden. Eine vorteilhafte Möglichkeit zur alternativen Gestaltung zeigt der Aufbau in **Figur 7**, in dem insbesondere die der ersten Zone des Wirbelbettbereichs (B1) zugeordnete Wand des Wirbelschichtreaktors (A) sich nach oben leicht aufweitet (hier dargestellt durch den Öffnungswinkel  $\alpha$  gegenüber der Senkrechten). Diese Aufweitung begünstigt die Feststoffströmung durch das Wirbelbett und dabei insbesondere die abwärtsströmenden groben Partikel in den Randzonen, d.h. an der Wand des Wirbelschichtreaktors.

**[0079]** **Figur 8** zeigt eine alternative Ausführungsform des Wirbelschichtreaktors (A) mit eingebautem Leittkörper (I). Zur Unterstützung der sich innerhalb des Wirbelbettes einstellenden Feststoffumwälzung kann vorteilhafterweise ein Leittkörper (I) eingesetzt werden. Dieser wird vertikal zwischen das langsam fluidisierte Bett (B1) und das schnell fluidisierte Bett (B2) eingesetzt, so dass es innerhalb des Bettes eingetaucht ist. Zum Düsenboden unten und zur Wirbelbettoberfläche oben ist ein Abstand, sodass das Bettmaterial der bevorzugten Umwälzung (F) folgen kann, aber durch den Leittkörper (I) in der Umwälzrichtung unterstützt wird.

**[0080]** Der Leittkörper (I) kann ebenfalls als Wärmeübertragerfläche gestaltet sein, wie die Tauchheizflächen (E), kann aber auch lediglich als Körper ohne Wärmeaufnahme-funktion ausgeführt sein.

**[0081]** Der Leittkörper kann, wie in **Figur 8** schematisch angedeutet strömungstechnisch vorteilhaft geformt sein. Zum Beispiel mit verjüngt zulaufenden Anströmseiten unten und abgerundeter Abströmseite am Feststoffüberlauf oben.

**[0082]** In den **Figuren 9 und 10** sind beispielhafte Anordnungen der Ausbrandluft-Düsen in einem Reaktorquerschnitt dargestellt. Die einzusetzenden Brennstoffe sind durch einen hohen Heizwert gekennzeichnet bei gleichzeitig oftmals schwierigen Ascheeigenschaften, die zur Agglomeration neigen, die zudem Störstoffe enthalten können. Oftmals geht mit diesen Eigenschaften, wie sie beispielsweise bei unterschiedlichsten Abfällen, Reststoffen oder aufbereiteten Müllfraktionen auftreten, auch ein hoher Gehalt an flüchtigen Bestandteilen einher.

**[0083]** Das bedeutet, dass auch die Umsetzung der Flüchtigen, die während des Verbrennungsprozesses freigesetzt werden und nur teilweise im Wirbelbett oxidieren, beachtet werden muss. Aus diesem Grund sieht die Gestaltung der Verbrennungsluftzugabe im Freiraum des erfindungsgemäßen Wirbelbett-ofens oberhalb des Wirbelbettes eine Eindüsungsmethode zur Erzeugung einer ausreichend großen Vermischung vor.

**[0084]** **Figur 9** zeigt die beispielhafte Anordnung der Ausbrandluft-Düsen im Falle eines kreisförmigen Reaktorquerschnitts. Die Ausströmrichtung eines Teils der Düsen (3) ist dabei tangential auf einen größeren virtuellen, zentrisch im Querschnitt liegenden Tangentialkreis (G) ausgerichtet. Ein weiterer Teil der Düsen (3') ist dabei tangential auf einen kleineren virtuellen, zentrisch im Querschnitt liegenden Tangentialkreis (H) ausgerichtet.

**[0085]** Wie beim kreisförmigen Freiraumquerschnitt kann die gleiche Methode der Ausbrandluftzugabe auch im Falle von quadratischen oder rechteckigen Querschnitten angewendet werden, wie in **Figur 10** beispielhaft dargestellt.

**[0086]** Die Ausbrandluft (3, 3') kann dabei aus Luft oder einem Gemisch aus Luft und rezirkuliertem Rauchgas (Rezigas) bestehen. Rezigas kann gezielt der Ausbrandluft zugegeben werden, um einerseits die Austrittsimpulse der Düsen zu erhöhen womit sich die Einmischung in den Rauchgasstrom (5) verbessert und/oder um durch die Gegenwart von Rezigas die Temperatur in der Nachverbrennungszone abzusenken.

**[0087]** Eine weitere Verbesserung der Nachverbrennungszone, die durch zum Beispiel Verbesserung der Vermischung und/oder durch Stufung der Ausbrandluftzugabe erreicht werden kann, womit die Reaktionszone vergrößert wird, was wiederum zur Vermeidung von Temperaturspitzen beiträgt, kann erzielt werden, indem die Höhenebene der Ausbrandluft-Zugabe (3) und (3') unterschiedlich gewählt wird. Das bedeutet, dass die Eindüsung der Ausbrandluft durchgeführt wird, indem die auf den "kleinen" Tangentialkreis (H) gerichtete Eindüsung oberhalb oder unterhalb der auf den "größeren" Tangentialkreis (G) gerichteten Eindüsung erfolgt.

## 35 Bezugszeichenliste

### [0088]

A	= Wirbelschichtreaktor
40 B1	= erste Zone des Wirbelbetts (langsam fluidisiert)
B2	= zweite Zone des Wirbelbett (schnell fluidisiert)
C1	= Fluidisier-Gasverteiler der ersten Zone B1
C2	= Fluidisier-Gasverteiler der zweiten Zone B2
D	= Bettmaterial-Abzugstrichter
45 E	= Tauchheizfläche
F	= Dominierende Richtung der Haupt-Wirbelbettmaterial-Bewegung
G	= größerer Tangentialkreis
H	= kleinerer Tangentialkreis
50 I	= Leittkörper
S	= Schnitlinie
1	= Verbrennungsluft
1'	= Verbrennungsluft
55 2	= rezirkuliertes Rauchgas
2'	= rezirkuliertes Rauchgas
3	= Verbrennungsluft, Ausbrandluft
3'	= Verbrennungsluft, Ausbrandluft

- 4 = Bettmaterial  
 5 = Rauchgas  
 6 = Fluidisiergas  
 6' = Fluidisiergas  
 7 = Trichtergas  
 7' = Trichtergas

$\alpha$  = Winkel

## Patentansprüche

### 1. Wirbelbettöfen der stationären Bauart umfassend:

einen Wirbelschichtreaktor (A), der eingerichtet ist ein fluidisiertes Wirbelbett auszubilden, umfassend:

eine erste Zone zur Wärmerückgewinnung (B1) umfassend einen fluidisierten Wirbelbettbereich mit Tauchheizflächen (E) und einen Fluidisiergas-Verteiler (C1) mit Fluidisiererelementen (6), und

eine zweite Zone zur Primärverbrennung (B2) umfassend einen fluidisierten Wirbelbettbereich ohne Tauchheizflächen und einen Fluidisiergas-Verteiler (C2) mit Fluidisiererelementen (6');

wobei die erste Zone zur Wärmerückgewinnung (B1) und die zweite Zone zur Primärverbrennung (B2) ein gemeinsames fluidisiertes Wirbelbett ausbilden, und wobei die Fluidisierung des Wirbelbettbereiches der zweiten Zone (B2) eine höhere Geschwindigkeit aufweist als die der ersten Zone (B1), sodass sich eine Wirbelbettinterne Materialzirkulation (F) zwischen der ersten und zweiten Zone entlang der Tauchheizflächen einstellt, und

wobei die Querschnittsfläche der ersten Zone (B1) von 0,4 bis 0,75 des gesamten Wirbelschichtreaktor-Querschnitts umfasst;

einen Bettmaterial-Abzugstrichter (D), der sich im Bereich unterhalb der Fluidisiergas-Verteiler (C1, C2) anschließt; und

einen Freiraum oberhalb des Wirbelschichtreaktors (A), in dem Ausbrandluftdüsen (3) innerhalb von Ausbrandluft-Ebenen angeordnet sind.

### 2. Der Wirbelbettöfen nach Anspruch 1, wobei sich der Sauerstoffanteil $\Lambda_B$ , der direkt in das Wirbelbett hinzugegeben wird, aus dem in den Wirbelbettbereich der ersten Zone (B1) eingebrachten Sauerstoff $\Lambda_{B1}$ , aus dem in den Wirbelbettbereich der zweiten Zone (B2) eingebrachten Sauerstoff $\Lambda_{B2}$ und dem in den Freiraum eingebrachten Sauerstoff, jeweils bezogen auf den stöchiometrischen Sauerstoffbedarf $O_{\min}$ zur Verbrennung des gesamt eingebrachten

Brennstoffs, zusammensetzt, wobei  $\Lambda_{B1}$  größer  $\Lambda_{B2}$  ist, vorzugsweise ist  $\Lambda_{B1}$  um 10% bis 30% größer als  $\Lambda_{B2}$ .

### 3. Der Wirbelbettöfen nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Fluidisiererelemente eines Fluidisiergas-Verteilers innerhalb einer Ebene unterhalb des Wirbelbetts angeordnet sind und wobei zwischen den einzelnen Fluidisiererelementen ein Abstand ist, sodass alle Fluidisiergas-Verteiler für gebildete Agglomerate, Bettmaterial und/oder Störstoffe durchlässig sind.

### 4. Der Wirbelbettöfen nach Anspruch 3, wobei die Fluidisiererelemente des Fluidisiergas-Verteilers (C1) der ersten Zone (B1) eine um einen Winkel von $1^\circ$ bis $75^\circ$ in Richtung der Zone (B2) abfallend geneigte Ebene ausbilden und wobei die Ebene der Fluidisiererelemente des Fluidisiergas-Verteilers (C2) der zweiten Zone (B2) bevorzugt horizontal ausgerichtet ist.

### 5. Der Wirbelbettöfen einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Fluidisiergas, welches über die Fluidisiergas-Verteiler der ersten Zone (B1) und der zweiten Zone (B2) des Wirbelbetts zugeführt wird, unabhängig voneinander aus Luft und/oder rezirkuliertem Rauchgas zusammengesetzt ist.

### 6. Der Wirbelbettöfen nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Verbrennung im gesamten Wirbelbett stattfindet.

### 7. Der Wirbelbettöfen nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die spezifische Fluidisiergasmenge bezogen auf die Wirbelbettfläche der zweiten Zone (B2) mindestens 150%, vorzugsweise 200% der spezifische Fluidisiergasmenge bezogen auf die Wirbelbettfläche der ersten Zone (B1) beträgt.

### 8. Der Wirbelbettöfen nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei in das Wirbelbett zwischen dem Wirbelbett der ersten Zone (B1) und dem Wirbelbett der zweiten Zone (B2) mindestens ein im Wesentlichen vertikal angeordneter Leitkörper (I) eingetaucht ist, so dass zum Düsenboden und zur Wirbelbettoberfläche ein Abstand vorhanden ist, wobei die geometrische Grundfläche des Leitkörpers (I) flächenförmig oder dreidimensional geformt vorliegt.

### 9. Der Wirbelbettöfen nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Bettmaterial-Abzugstrichter (D) zusätzliche Gaszufuhr-Düsen aufweist.

### 10. Der Wirbelbettöfen nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Ausbrandluftdüsen (3) innerhalb einer Ausbrandluftebene tangential auf einen im Freiraum des Reaktorquerschnitts liegenden imaginären Tangentialkreis (G) ausgerichtet sind.

11. Der Wirbelbettofen nach Anspruch 10, wobei der Freiraum des Wirbelschichtreaktors (A) mindestens eine zweite Ausbrandluftebene enthält, deren Ausbrandluftdüsen (3') tangential auf einen im Freiraum des Reaktorquerschnitts liegenden imaginären Tangentialkreis (H) ausgerichtet sind, wobei der Tangentialkreis (G) der ersten Ausbrandluftebene einen anderen Durchmesser aufweist als der Tangentialkreis (H) der zweiten Ausbrandluftebene. 5
12. Verfahren zum Verbrennen von Stoffen in einem Wirbelbettofen der stationären Bauart, wobei die Stoffe in einen Wirbelschichtreaktor (A) gegeben werden und verbrannt werden, wobei der Wirbelschichtreaktor (A) ein fluidisiertes Wirbelbett ausbildet, umfassend eine erste Zone zur Wärmerückgewinnung (B1) umfassend einen fluidisierten Wirbelbettbereich mit Tauchheizflächen (E) und einen Fluidisiergas-Verteiler (C1) mit Fluidisier-elementen (6), und eine zweite Zone zur Primärverbrennung (B2) umfassend einen fluidisierten Wirbelbettbereich ohne Tauchheizflächen und einen Fluidisiergas-Verteiler (C2) mit Fluidisier-elementen (6') umfasst, wobei die Fluidisierung des Wirbelbettbereiches der zweiten Zone (B2) eine höhere Geschwindigkeit aufweist als die der ersten Zone (B1), sodass sich eine Wirbelbett-interne Materialzirkulation (F) zwischen der ersten und zweiten Zone entlang der Tauchheizflächen einstellt, und wobei die Querschnittfläche der ersten Zone (B1) von 0,4 bis 0,75 des gesamten Wirbelschichtreaktor-Querschnitts umfasst; und wobei Störstoffe, Agglomerate und/oder das Bettmaterial über einen Bettmaterial-Abzugstrichter (D), der sich im Bereich unterhalb der Fluidisiergas-Verteiler (C1, C2) anschließt, abgezogen werden; und wobei in einem Freiraum oberhalb des Wirbelschichtreaktors (A), in dem Ausbrandluftdüsen (3) innerhalb von Ausbrandluft-Ebenen angeordnet sind, eine Nachverbrennung durchgeführt wird. 10 15 20 25 30 35 40
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei Störstoffe, Agglomerate und/oder das Bettmaterial kontinuierlich über den Bettmaterial-Abzugstrichter (D) abgezogen werden. 45
14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, wobei zur Nachverbrennung ein Gas auf einen im Freiraum des Reaktorquerschnitts liegenden imaginären Kreis (G) ausgerichtet tangential eingeströmt wird. 50
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei sich der Sauerstoffanteil  $\Lambda_B$ , der direkt über das Wirbelbett hinzugegeben wird, aus dem in den Wirbelbettbereich der ersten Zone (B1) eingebrachten Sauerstoff  $\Lambda_{B1}$ , aus dem in den Wirbelbettbereich der zweiten Zone (B2) eingebrachten Sauerstoff  $\Lambda_{B2}$  und dem in den Freiraum eingebrachten Sauerstoff, jeweils bezogen auf den stöchiometrischen Sauerstoffbedarf  $O_{min}$  zur Verbrennung des gesamt eingebrachten Brennstoffs, zusammensetzt, wobei  $\Lambda_{B1}$  größer  $\Lambda_{B2}$  ist, vorzugsweise ist  $\Lambda_{B1}$  um 10% bis 30% größer als  $\Lambda_{B1}$ . 55
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, wobei in die zweite Zone (B2) mindestens 150%, vorzugsweise mindestens 200%, der spezifischen Fluidisiergasmenge der ersten Zone (B1) eingeströmt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 16, wobei die Fluidisier-elemente eines Fluidisiergas-Verteilers innerhalb einer Ebene unterhalb des Wirbelbetts angeordnet sind und wobei zwischen den einzelnen Fluidisier-elementen ein Abstand ist, sodass gebildete Agglomerate, Bettmaterial und/oder Störstoffe zwischen den einzelnen Fluidisier-elementen des Fluidisiergas-Verteilers durchgeführt werden.

Fig. 1

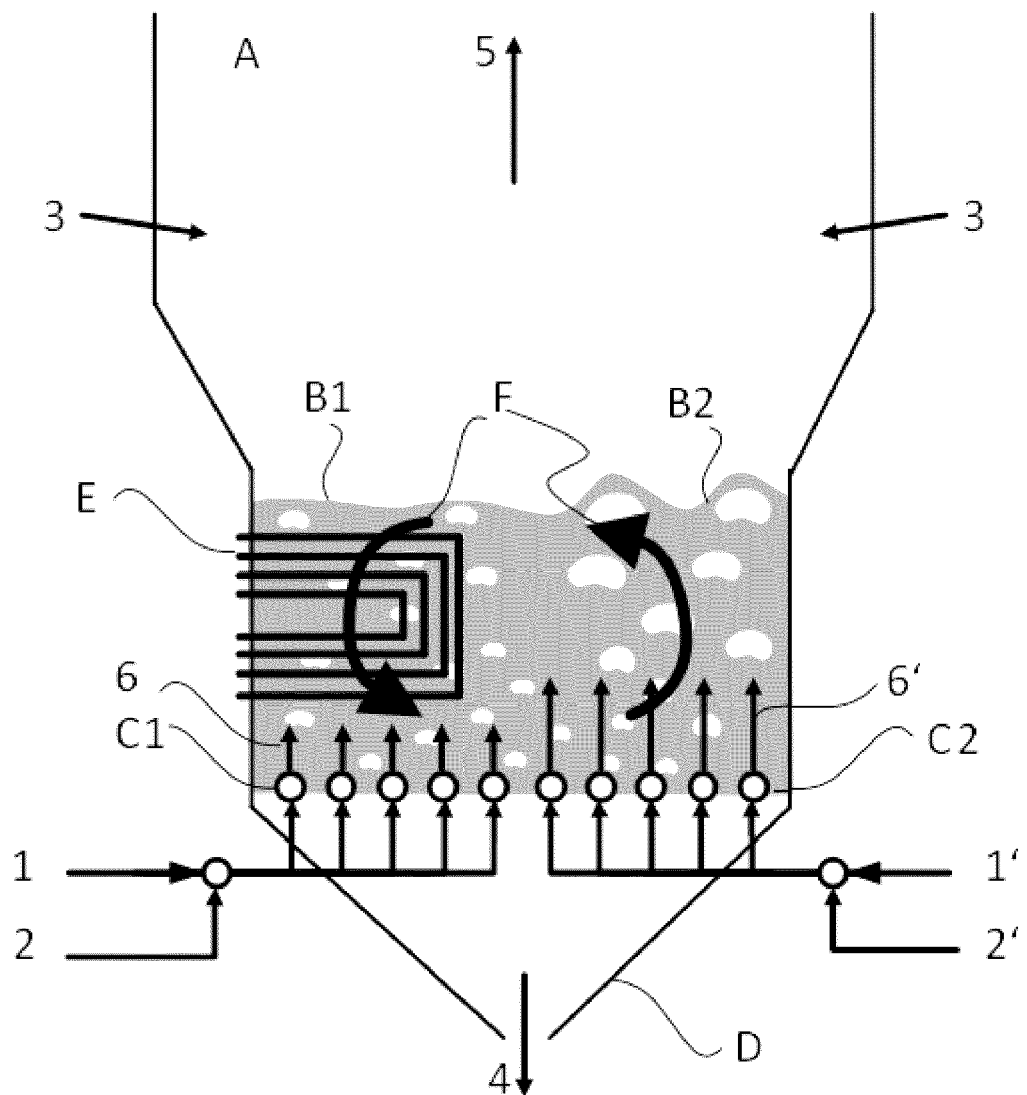


Fig. 2

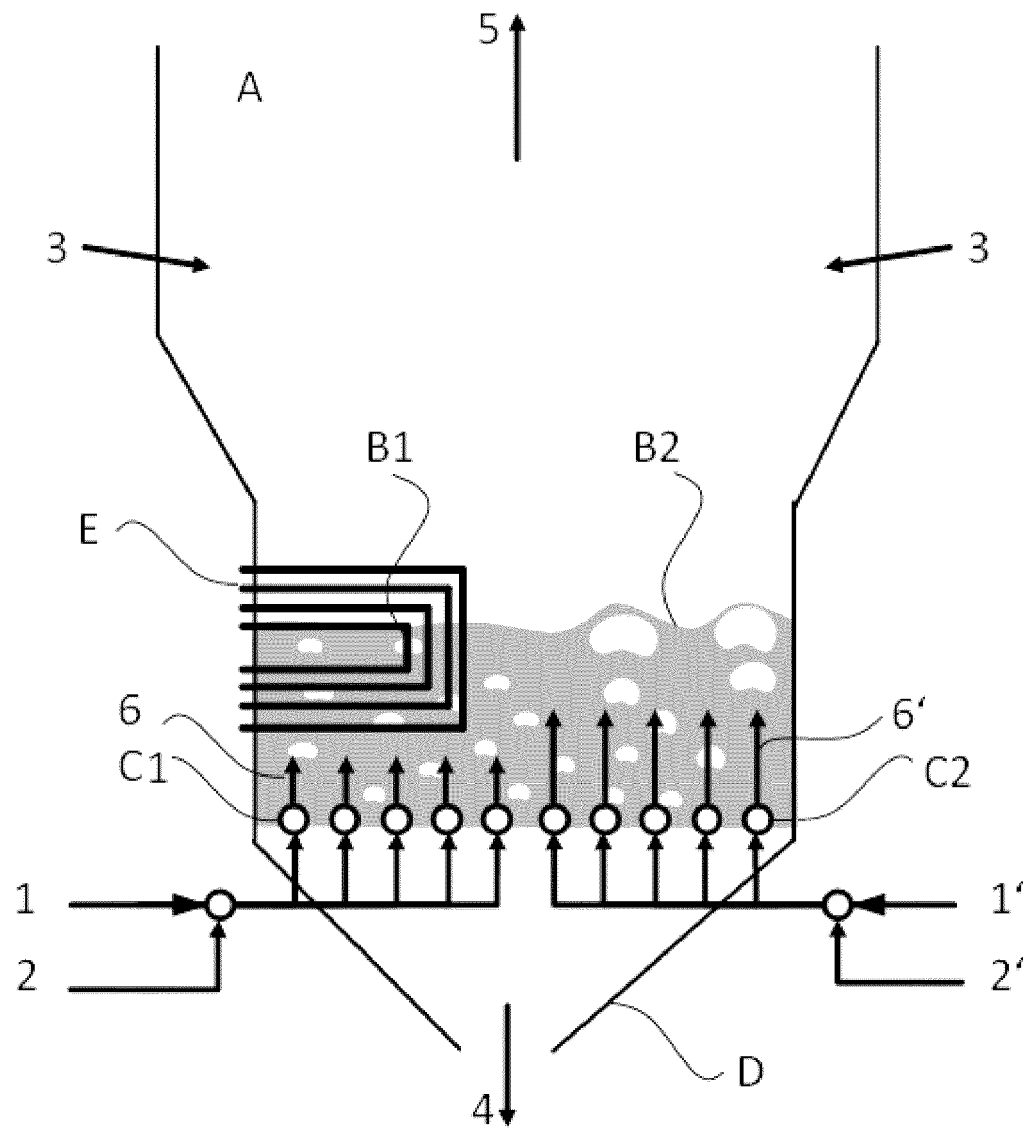


Fig. 3

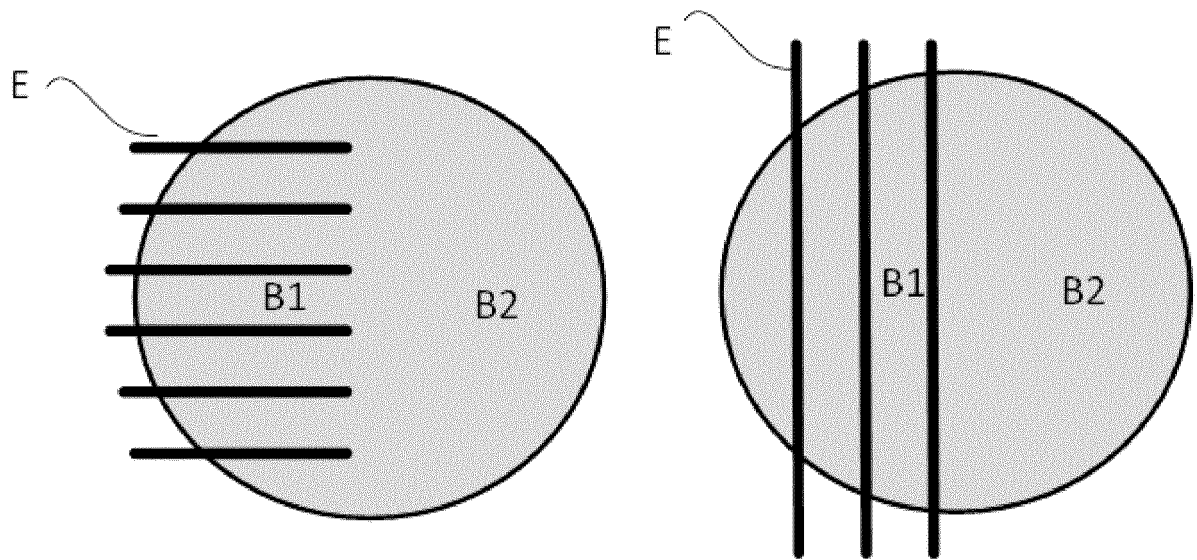


Fig. 4

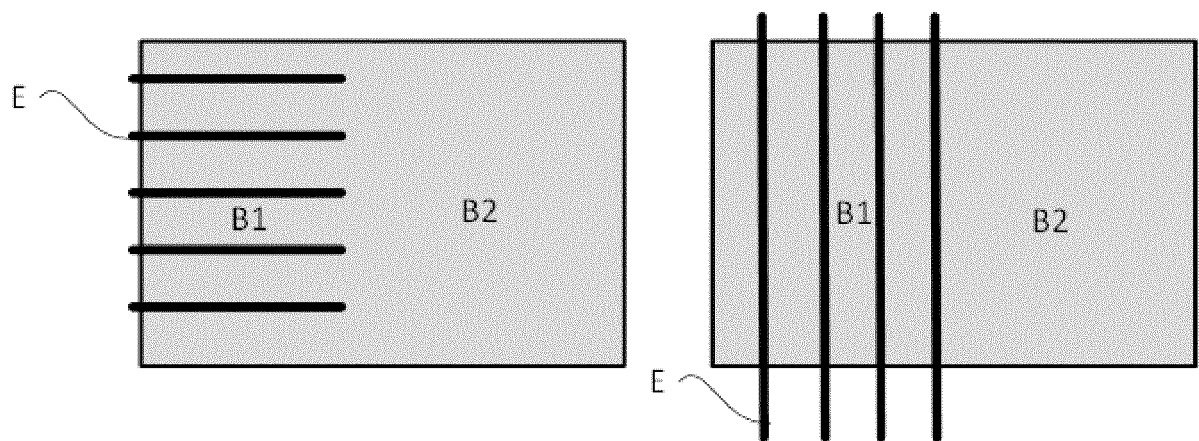


Fig. 5

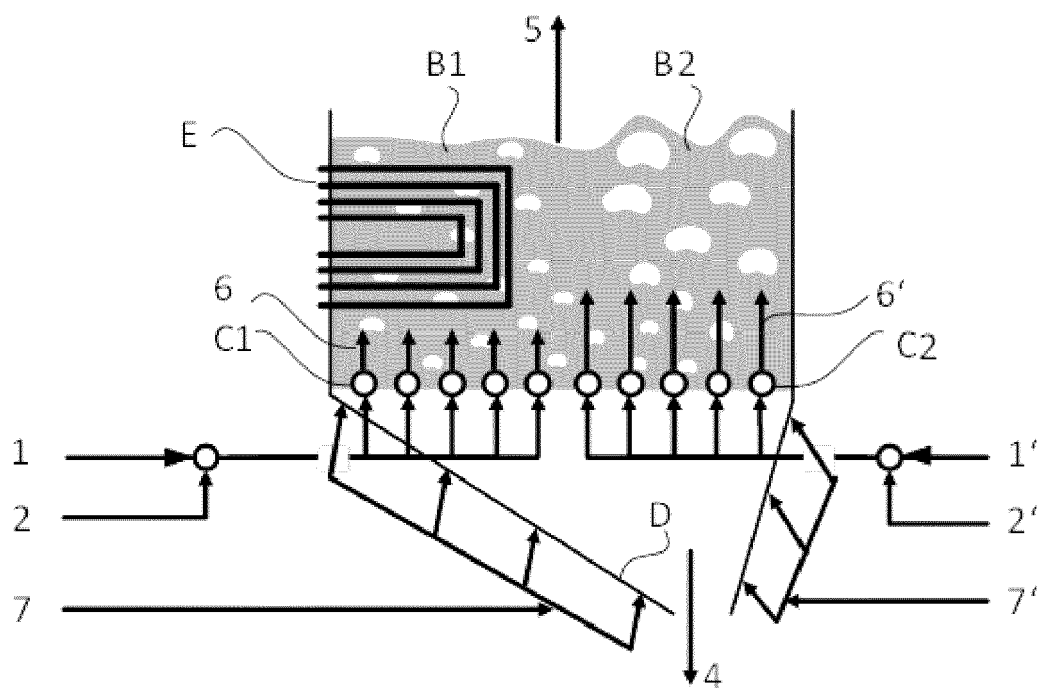




Fig. 6

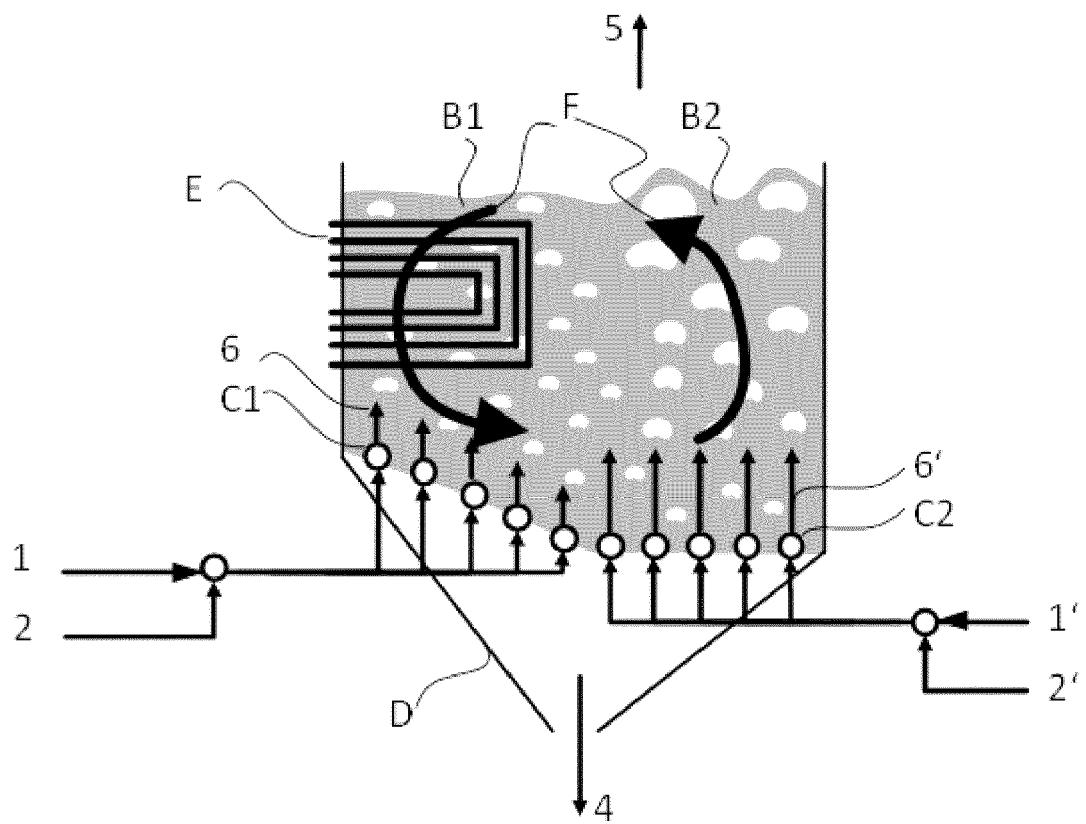


Fig. 7

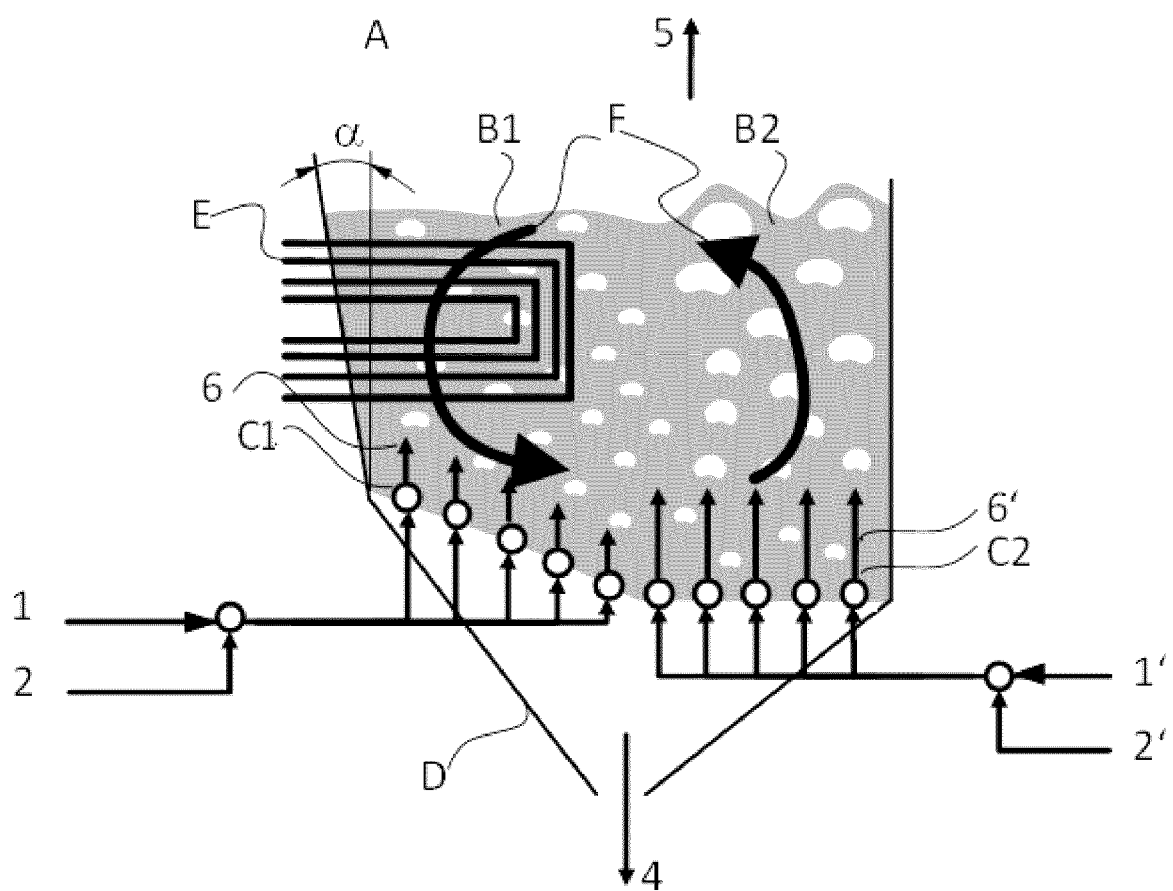


Fig. 8

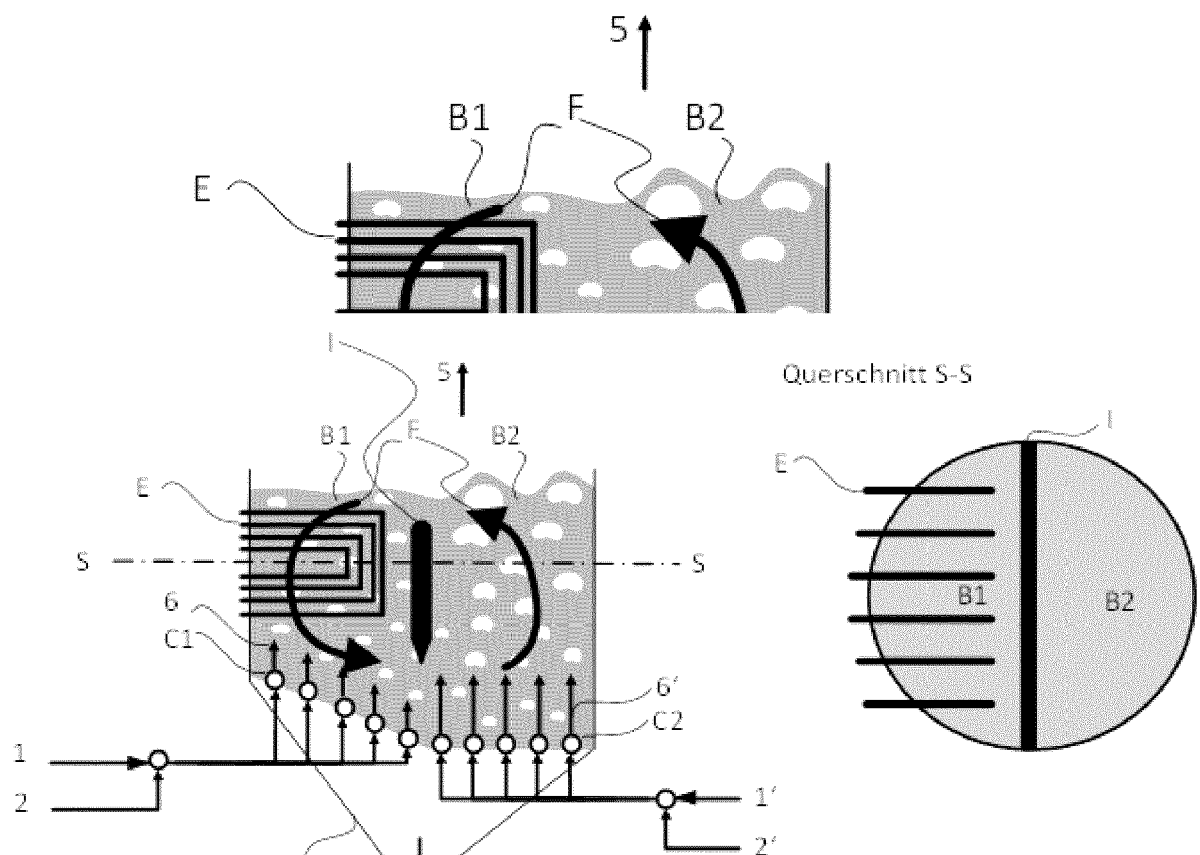


Fig. 9

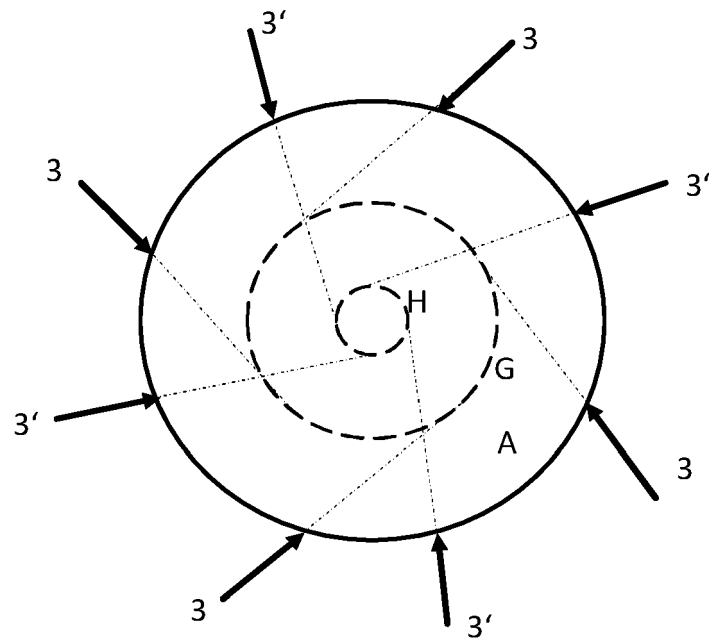
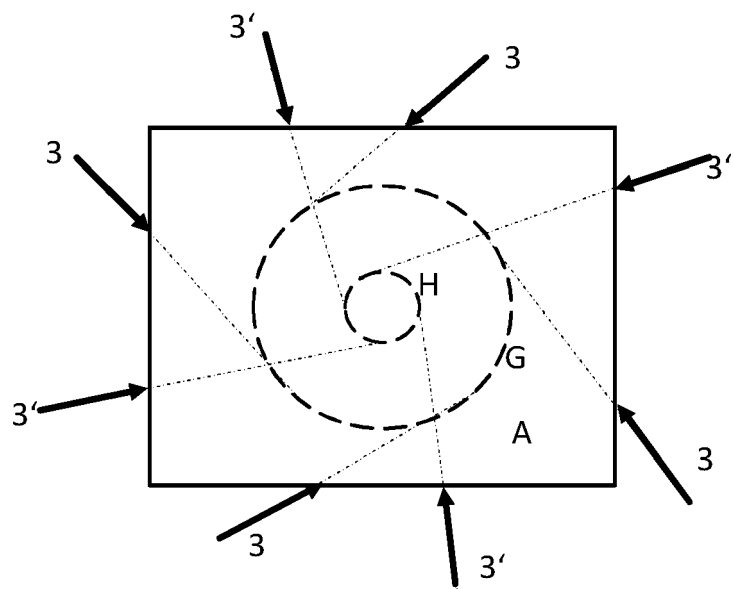


Fig. 10





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 20 19 1986

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	EP 0 722 067 A2 (KOBE STEEL LTD [JP]) 17. Juli 1996 (1996-07-17) * Abbildungen 3, 4, 13, 15, 16, 22 * * Spalte 12, Zeile 26 - Spalte 13, Zeile 12 * * Spalte 14, Zeile 40 - Spalte 15, Zeile 42 *	1,3-14, 16,17	INV. F23C10/20 F23C10/26 F23C10/24 F23C3/00 F23C7/00 F23C6/04 F23G5/30 F22B31/00
X	WO 2019/107421 A1 (KAWASAKI HEAVY IND LTD [JP]) 6. Juni 2019 (2019-06-06)  * Absätze [0020] - [0024], [0027], [0032], [0033], [0035] * * Abbildungen 1-4 *	1,3, 5-14,16, 17	
A	JP 2001 132925 A (BABCOCK HITACHI KK) 18. Mai 2001 (2001-05-18) * Absätze [0026], [0027], [0031] * * Abbildungen 1-5 *	1,3,4,6, 12,13,17	
A	KR 101 375 873 B1 (KOREA IND TECH INST [KR]) 18. März 2014 (2014-03-18) * Absätze [0040], [0052], [0056] - [0058] * * Abbildungen 1, 2 *	1,3,4, 12,13,17	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F23C F23G F22G F22B
A	US 2007/014704 A1 (HASHIMOTO HIROSHI [JP] ET AL) 18. Januar 2007 (2007-01-18)  * Absätze [0046] - [0050] * * Abbildung 3 *	1,2,5,6, 8,12,13, 15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>12. April 2021</b>	Prüfer <b>Vogl, Paul</b>
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 : mündliche 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 03.82 (P04C03)



5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

### GEBÜHRENPFLICHTIGE PATENTANSPRÜCHE

Die vorliegende europäische Patentanmeldung enthielt bei ihrer Einreichung Patentansprüche, für die eine Zahlung fällig war.

☐ Nur ein Teil der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für jene Patentansprüche erstellt, für die keine Zahlung fällig war, sowie für die Patentansprüche, für die Anspruchsgebühren entrichtet wurden, nämlich Patentansprüche:

☐ Keine der Anspruchsgebühren wurde innerhalb der vorgeschriebenen Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Patentansprüche erstellt, für die keine Zahlung fällig war.

### MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

Siehe Ergänzungsblatt B

☒ Alle weiteren Recherchegebühren wurden innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.

☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Recherchenabteilung nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.

☐ Nur ein Teil der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf Erfindungen beziehen, für die Recherchegebühren entrichtet worden sind, nämlich Patentansprüche:

☐ Keine der weiteren Recherchegebühren wurde innerhalb der gesetzten Frist entrichtet. Der vorliegende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf die zuerst in den Patentansprüchen erwähnte Erfindung beziehen, nämlich Patentansprüche:

☐ Der vorliegende ergänzende europäische Recherchenbericht wurde für die Teile der Anmeldung erstellt, die sich auf die zuerst in den Patentansprüchen erwähnte Erfindung beziehen (Regel 164 (1) EPÜ).



**MANGELNDE EINHEITLICHKEIT  
DER ERFINDUNG  
ERGÄNZUNGSBLATT B**

Nummer der Anmeldung

EP 20 19 1986

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Nach Auffassung der Recherchenabteilung entspricht die vorliegende europäische Patentanmeldung nicht den Anforderungen an die Einheitlichkeit der Erfindung und enthält mehrere Erfindungen oder Gruppen von Erfindungen, nämlich:

1. Ansprüche: 1, 3-14, 16, 17

Konstruktive Details des Wirbelbettofens

---

2. Ansprüche: 2, 15

Verfahren zur Verbrennungskontrolle

---

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

EP 20 19 1986

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.

12-04-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0722067 A2	17-07-1996	EP 0722067 A2	17-07-1996
		KR 960029703 A	17-08-1996
WO 2019107421 A1	06-06-2019	BR 112020010593 A2	12-01-2021
		CN 111630319 A	04-09-2020
		JP 2019100574 A	24-06-2019
		WO 2019107421 A1	06-06-2019
JP 2001132925 A	18-05-2001	KEINE	
KR 101375873 B1	18-03-2014	KEINE	
US 2007014704 A1	18-01-2007	JP 2007024492 A	01-02-2007
		US 2007014704 A1	18-01-2007

EPO FORM P0461

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



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 0431163 A1 **[0004]**
- EP 2933557 A1 **[0005]**
- EP 0740109 A2 **[0006]**
- EP 3124862 B2 **[0007]**