

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 1 470 379 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**01.03.2006 Patentblatt 2006/09**

(51) Int Cl.:  
**F28D 13/00** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **03734728.3**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2003/050003**

(22) Anmeldetag: **27.01.2003**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2003/064950 (07.08.2003 Gazette 2003/32)**

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNGEN ZUM ERWÄRMEN EINES KONTINUIERLICHEN  
FESTSTOFFSTROMS**

METHODS AND DEVICES FOR HEATING A CONTINUOUS FLOW OF SOLIDS

PROCEDES ET DISPOSITIFS PERMETTANT DE CHAUFFER UN FLUX CONTINU DE MATIERE  
SOLIDE

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HU IE IT LI LU MC NL PT SE SI SK TR**

- **GOEDERT, Paul**  
**5651 Mondorf-les-Bains (LU)**
- **SCHMIT, Louis**  
**1451 Luxembourg (LU)**

(30) Priorität: **01.02.2002 LU 90888**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**27.10.2004 Patentblatt 2004/44**

(74) Vertreter: **Schmitt, Armand**  
**Office Ernest T. Freylinger S.A.**  
**234, route d'Arlon,**  
**B.P. 48**  
**8001 Strassen (LU)**

(73) Patentinhaber: **PAUL WURTH S.A.**  
**1122 Luxembourg (LU)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A-99/24773** **FR-A- 1 179 572**

(72) Erfinder:  
• **KROEMMER, Yvan**  
**8360 Goetzingen (LU)**

**EP 1 470 379 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erwärmen eines kontinuierlichen Feststoffstroms, sowie Vorrichtungen zur Ausführung dieses Verfahrens.

### Stand der Technik

**[0002]** Es ist bekannt pneumatisch förderbare Feststoffe, wie z.B. Kohlenstaub, in einem Wirbelbettwärmetauscher zu erwärmen. Solche Wirbelbettwärmetauscher umfassen einen säulenförmigen Druckbehälter, in dem eine Schüttung aus Feststoffpartikeln durch ein Auflockerungsgas von unten durchströmt wird. In der Schüttung werden die Feststoffpartikel vom nach oben strömenden Auflockerungsgas getragen, so dass ein sogenanntes Wirbelbett aufrechterhalten wird. Das Wirbelbett wird durch Wärmetauscher erwärmt, welche in das Wirbelbett eingetaucht sind oder letzteres umgeben.

**[0003]** In der WO 99/24773 ist ein solcher Wirbelbettwärmetauscher beschrieben. Der zu erwärmende Feststoff wird in einer pneumatischen Förderleitung zum Wärmetauscher transportiert und kontinuierlich am unteren Ende des Wärmetauschers in das Wirbelbett eingespeist. Am oberen Ende des Wärmetauschers fließt das Wirbelbett in eine Austragsvorrichtung für den Feststoff ein. Letztere umfasst eine Zentralschleuse, die den Feststoff kontinuierlich austrägt. Das Gas, das sich am oberen Ende des Wärmetauschers ansammelt, wird derart abgezogen, dass im Wärmetauscher ein konstanter Überdruck herrscht. Das abgezogene Gas wird in einem Zyklon gereinigt.

**[0004]** In vielen Prozessen besteht der Bedarf, den Feststoff nach seiner Erwärmung im Wirbelbettwärmetauscher pneumatisch weiterzutransportieren. Es wäre deshalb von Vorteil, wenn man ein erwärmtes Feststoff/Gas-Gemisch unmittelbar aus dem Wirbelbettwärmetauscher in eine pneumatische Förderleitung einleiten könnte. Allerdings hat man festgestellt, dass sich bei dieser Vorgehensweise, eine stabile pneumatische Förderung nicht unbedingt erzielen lässt. Dies scheint vor allem dadurch bedingt zu sein, dass das aus dem Wirbelbett abgezogene Feststoff/Gas-Gemisch stark veränderliche Feststoffbeladungen aufweisen kann.

**[0005]** Bei einer Kohlenstaubeinblasung in einen Hochofen besteht heute der Bedarf den Kohlenstaub vor dem Einblasen in den Hochofen auf Temperaturen über 200°C zu erwärmen. Hierbei verliert der Kohlenstaub einen Großteil seiner Porenfeuchte, wodurch relativ große und stark veränderliche Mengen an Wasserdampf freigesetzt werden. Bei einer Erwärmung auf Temperaturen über 200°C, dehnt sich die Gasphase, die den freigesetzten Wasserdampf, das Fördergas und das Auflockerungsgas umfasst, zu erwärmt werden, stark aus. Um den im Wirbelbettwärmetauscher erwärmten Kohlenstaub problemlos pneumatisch weitertransportieren zu können, war man bis jetzt gezwungen den erwärmten Materialstrom aus dem Wirbelbett zuerst über eine

Schleusenvorrichtung in einen Entgasungsbehälter auszutragen, aus dem die Gasphase abgezogen wird. Aus diesem Entgasungsbehälter wird der Kohlenstaub dann in eine Fluidisierungsvorrichtung ausgetragen, die ihn in eine pneumatische Förderleitung einspeist, wobei der Massendurchsatz des Kohlenstaubs in der pneumatischen Förderleitung geregelt wird. Der Entgasungsbehälter mit Eintragsschleuse, die Fluidisierungsvorrichtung und die Massendurchsatzregelvorrichtung verursachen natürlich eine wesentliche Verteuerung der Anlage.

### Aufgabe der Erfindung

**[0006]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren vorzuschlagen, mit dem ein kontinuierlicher Feststoffstrom erwärmt und unmittelbar pneumatisch weiterbefördert werden kann, wobei eine ausreichende Stabilität der pneumatischen Förderung gewährleistet sein muss.

### Zusammenfassung der Erfindung

**[0007]** Ein pneumatisch förderbarer Feststoffstrom wird kontinuierlich in einen Druckbehälter eingetragen, worin durch Zugabe eines Auflockerungsgases ein Wirbelbett aufrechterhalten wird, das durch Wärmeaustausch mit einem Wärmeträger erwärmt wird. Erfindungsgemäß wird ein Feststoff/Gas-Gemisch kontinuierlich aus dem Wirbelbett entnommen und durch Schwerkraft- oder Fliehkraft-Abscheidung in eine schwachbeladene Gasphase und ein stark verdichtetes Feststoff/Gas-Gemisch aufgeteilt. Das stark verdichtete Feststoff/Gas-Gemisch wird dann kontinuierlich in eine pneumatische Förderleitung ausgetragen und hierin pneumatisch weiterbefördert. Der Feststoffinhalt des Druckbehälters wird kontinuierlich überwacht. Über einen geregelten Gasabzug aus der schwachbeladenen Gasphase wird die kontinuierlich Austragung des stark verdichteten Feststoff/Gas-Gemischs in die pneumatische Förderleitung derart geregelt, dass der Feststoffinhalt des Druckbehälters stets weitgehend konstant bleibt. Mit diesem Verfahren kann ein kontinuierlicher Feststoffstrom erwärmt und unmittelbar pneumatisch weiterbefördert werden, wobei eine gute Stabilität der pneumatischen Förderung gewährleistet ist.

**[0008]** Das vorgeschlagene Verfahren eignet sich z.B. ausgezeichnet zum Erwärmen und Trocknen eines pneumatisch förderbaren Feststoffes, der durch Hygroskopizität Wasser an sich gebunden hat. Hierbei wird der Feststoff im Wirbelbett derart erwärmt, dass ein Großteil dieses Wassers im Wirbelbett verdampft und in die Gasphase übergeht. Es ist zu beachten, dass das vorgeschlagene Verfahren es ermöglicht, den erwärmten Feststoff anschließend unmittelbar pneumatisch weiterzubefördern, wobei eine gute Stabilität der pneumatischen Förderung gewährleistet ist, was bis jetzt als unmöglich galt.

**[0009]** So kann das vorgeschlagene Verfahren z.B.

vorteilhaft auf Kohlenstaub angewandt werden, der vor dem Druckbehälter bei einer Temperatur von weniger als 100°C entfeuchtet wurde, so dass seine Oberflächenfeuchte beim Eintritt in das Wirbelbett vernachlässigbar ist, seine Porenfeuchte jedoch noch relativ hoch ist. Dieser Kohlenstaub verliert im Wirbelbett bei Temperaturen zwischen 150°C und 250°C den größten Teil seiner Porenfeuchte. Das vorgeschlagene Verfahren ermöglicht es hierbei den stark erwärmten Kohlenstaub unmittelbar pneumatisch weiterzubefördern, wobei eine gute Stabilität der pneumatischen Förderung gewährleistet ist, was bis jetzt als unmöglich galt.

**[0010]** In einer vorteilhaften Ausführung umfasst der Druckbehälter einen Wirbelbettwärmetauscher und eine Entgasungssäule. Der Feststoffstrom wird kontinuierlich am unteren Ende in den Wirbelbettwärmetauscher eingebracht. In diesem Wirbelbettwärmetauscher wird durch Zugabe eines Auflockerungsgases ein Wirbelbett aufrechterhalten, das durch Wärmeaustausch mit einem Wärmeträger erwärmt wird. Am oberen Ende des Wirbelbettwärmetauschers strömt ein erwärmtes Feststoff/Gas-Gemisch aus dem Wirbelbett in die Entgasungssäule über. Hier bildet das übergeströmte Feststoff/Gas-Gemisch ein unter Einwirkung der Schwerkraft stark verdichtetes Wirbelbett aus, wobei die ausgeschiedene Gasphase sich im oberen Ende der Entgasungssäule ansammelt. Das stark verdichtete Wirbelbett wird am unteren Ende der Entgasungssäule kontinuierlich in die pneumatische Förderleitung ausgetragen. Diese kontinuierlich Austragung des stark verdichteten Wirbelbetts in die pneumatische Förderleitung wird hierbei über einen geregelten Gasabzug am oberen Ende der Entgasungssäule gesteuert. Das stark verdichtete Wirbelbett kann am unteren Ende der Entgasungssäule durch Zugabe eines Gases aufgelockert werden, bevor es in die pneumatische Förderleitung ausgetragen wird. Eine Veränderung des Feststoffinhalts wird bei dieser Ausführung vorteilhaft durch eine Veränderung der Höhe des stark verdichteten Wirbelbetts in der Entgasungssäule erfasst.

**[0011]** In einer weiteren vorteilhaften Ausführung umfasst der Druckbehälter lediglich einen Wirbelbettwärmetauscher. Der Feststoffstrom wird kontinuierlich am unteren Ende in den Wirbelbettwärmetauscher eingebracht. In diesem Wirbelbettwärmetauscher wird durch Zugabe eines Auflockerungsgases ein Wirbelbett aufrechterhalten, das durch Wärmeaustausch mit einem Wärmeträger erwärmt wird. Ein erwärmtes Feststoff/Gas-Gemisch wird am oberen Ende aus dem Wirbelbett über einen Zyklon entnommen, wobei der Zyklon das entnommene Feststoff/Gas-Gemisch durch Fliehkraft in einen schwachbeladene Gasphase und ein stark verdichtetes Feststoff/Gas-Gemisch aufteilt. Das stark verdichtete Feststoff/Gas-Gemisch wird kontinuierlich in die pneumatische Förderleitung eingeleitet. Über einen geregelten Gasabzug im Zyklon, wird der Durchsatz des Feststoff/Gas-Gemischs in die pneumatische Förderleitung gesteuert. Eine Veränderung des Feststoffinhalts wird bei dieser Ausführung vorteilhaft durch eine Verän-

derung der Höhe des Wirbelbetts in dem Wirbelbettwärmetauscher erfasst.

**[0012]** Es werden ebenfalls vorteilhafte Vorrichtungen zur Ausführung dieser Verfahrensvarianten vorgestellt.

### Figurenaufstellung

**[0013]** Im Folgenden werden nun verschiedene Ausgestaltungen der Erfindung anhand der beiliegenden Figuren beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1: ein vereinfachtes Anlagenschema einer Kohlenstaubeinblasung für einen Hochofen, mit einer ersten Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Erwärmen des pneumatisch geförderten Kohlenstaubs;
- Fig. 2: ein vergrößerter Ausschnitt aus der Fig. 1, welche den Aufbau der Vorrichtung zum Erwärmen eines pneumatisch geförderten Feststoffs in einem schematischen Längsschnitt zeigt;
- Fig. 3: einen schematischen Längsschnitt durch eine zweite Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Erwärmen eines pneumatisch geförderten Feststoffs;
- Fig. 4: einen Querschnitt entlang der Schnittlinie 4-4' der Fig. 3; und
- Fig. 5: einen vergrößerten Ausschnitt aus der Fig. 3.

### Beschreibung von bevorzugten Ausgestaltungen der Erfindung anhand der Figuren

**[0014]** Fig. 1 zeigt ein stark vereinfachtes Anlagenschema einer Kohlenstaubeinblasung für einen Hochofen 10. Eine Klammer mit dem Bezugszeichen 12 bezeichnet global eine Anlage für die Aufbereitung des Kohlenstaubs. Diese Anlage 12 umfasst, in bekannter Art und Weise, einen Vorratsbunker 14, einen Schleusenbehälter 16 und einen Einblasbehälter 18. Im Vorratsbunker 14 wird der Kohlenstaub 20 gespeichert und ggf. bei Temperaturen unter 100°C entfeuchtet. An diesen Einblasbehälter 18 sind mehrere pneumatische Förderleitungen 22<sub>1</sub>, 22<sub>2</sub>, 22<sub>3</sub>, 22<sub>4</sub>, ... angeschlossen. Jede dieser pneumatischen Förderleitungen 22<sub>1</sub>, 22<sub>2</sub>, 22<sub>3</sub>, 22<sub>4</sub>, ... versorgt hierbei eine Blasform 24<sub>1</sub> des Hochofens 10, in welcher der Kohlenstaub in den Hochofen 10 eingeblasen wird. Zum Regeln des Massendurchsatzes des Kohlenstaubs umfasst jede pneumatische Förderleitungen 22<sub>1</sub>, 22<sub>2</sub>, 22<sub>3</sub>, 22<sub>4</sub>, ... eine Regelvorrichtung 26<sub>1</sub>. In Fig. 1 ist diese Regelvorrichtung 26<sub>1</sub> in der pneumatischen Förderleitung 22<sub>1</sub> durch einen Massendurchsatzmesser 28 und ein Durchsatzregelventil 30 dargestellt. Es ist weiterhin hervorzuheben, dass der Kohlenstaub in den pneumatischen Förderleitungen 22<sub>1</sub>, 22<sub>2</sub>, 22<sub>3</sub>, 22<sub>4</sub>, ... vorzugsweise im Dichtstrom transportiert wird, so dass Gas- und Energieverbrauch, wie auch der Verschleiß minimiert werden. Unter einer Dichtstromförderung versteht man hierbei eine Feststoffbeladung von mindestens 20 kg Feststoff pro kg Fördergas.

**[0015]** Mit dem Bezugszeichen 40 ist eine Vorrichtung zum Erwärmen des pneumatisch geförderten Kohlenstaubs gezeigt, die in die pneumatische Förderleitungen 22<sub>1</sub> eingebaut ist (das Teilstück der pneumatischen Förderleitung 22<sub>1</sub> stromabwärts der Vorrichtung 40 ist hierbei mit dem Bezugszeichen 22'<sub>1</sub> versehen). Diese Vorrichtung 40 soll den Kohlenstaub, der in der pneumatischen Förderleitung 22<sub>1</sub>, 22'<sub>1</sub> befördert wird, vor dem Einblasen in den Hochofen 10, auf Temperaturen zwischen 150°C und 300°C aufwärmen.

**[0016]** Mit Bezug auf die Fig. 2 wird nun die Vorrichtung 40 aus der Fig. 1 näher beschrieben. Sie umfasst zwei säulenförmigen Druckbehälter 42, 44, wobei der erste Druckbehälter 42 einen Wirbelbettwärmetauscher und der zweite Druckbehälter 42 eine Entgasungssäule ausbildet. Es ist hervorzuheben, dass jeder der beiden säulenförmigen Druckbehälter 42, 44 eine Höhe von mehreren Metern aufweist.

**[0017]** Der Wirbelbettwärmetauscher 42 weist in seinem unteren Ende eine Fluidisierungsvorrichtung 46 mit einem Gasanschluss 48 für ein Auflockerungsgas auf. Eine solche Fluidisierungsvorrichtung 46 umfasst z.B. einen an sich bekannten, porösen Fluidisierungsboden 50, über den das Auflockerungsgas (im Falle von Kohlenstaub handelt es sich vorzugsweise um ein Inertgas, wie z.B. Stickstoff) über den gesamten Querschnitt des säulenförmigen Druckbehälters 42 gleichmäßig verteilt wird. Über eine Feststoff-Einlassvorrichtung 52 wird der Kohlenstaub aus der pneumatischen Förderleitung 22<sub>1</sub> unmittelbar oberhalb des Fluidisierungsbodens 50 in den Druckbehälter 42 eingeleitet. Das über den porösen Fluidisierungsboden 50 einströmende Auflockerungsgas trägt hierbei die Feststoffpartikel in die Höhe. Es bildet sich in dem säulenförmigen Druckbehälter 42 ein Wirbelbett 54 aus, das flüssigkeitsähnliche Eigenschaften aufweist. Dieses Wirbelbett 54 erstreckt sich vom Fluidisierungsboden 50 bis zu einer Querverbindung 56, welche die zwei säulenförmigen Druckbehälter 42, 44 an ihren Kopfen verbindet. Durch diese Querverbindung 56 strömt das Feststoff/Gas-Gemisch aus dem Wirbelbett 54 in zweiten Druckbehälter 44 über. In einem kontinuierlichen Betriebszustand entspricht der Feststoff-Massendurchsatz in der Querverbindung 56 dem Feststoff-Massendurchsatz in der pneumatischen Förderleitung 22. In dem ersten Druckbehälter 42 wird demnach ein Wirbelbett 54 von mehreren Metern Höhe aufrechterhalten, in dem sich die Kohlenstaubpartikel langsam von unten nach oben bewegen. Dieses Wirbelbett 54 wird durch einen Wärmetauscher erwärmt, der in Fig. 2 durch einen doppelwandigen Mantel 58 ausgebildet wird. Dieser Mantelwärmetauscher 58 umgibt das Wirbelbett 54 über den größten Teil seiner Höhe und wird von einem Wärmeträger, normalerweise ein Wärmeträgeröl, von oben nach unten durchströmt.

**[0018]** Der Wirbelbettwärmetauscher 42 ist vorzugsweise derart ausgelegt, dass Temperaturen und Verweilzeiten im Wirbelbett 54 erreicht werden, die gewährleisten, dass der größte Teil der Porenfeuchte des Kohlen-

staubs im Wirbelbett 54 verdampft. In Normalfall wird dies bei Temperaturen von 150°C bis 250°C, Verweilzeiten von 2 bis 4 Minuten und einem Druck im Druckbehälter von ungefähr 6 bis 8 bar erreicht. Man kann davon ausgehen, dass hierbei pro kg Kohlenstaub zwischen 0,05 bis 0,1 kg Wasserdampf freigesetzt werden, was bei einem Druck von 8 bar und einer Temperatur von 200°C einem Gasvolumen zwischen 0,012 bis 0,024 m<sup>3</sup> pro kg Kohlenstaub entspricht.

**[0019]** Im zweiten säulenförmigen Druckbehälter 44, welcher die Entgasungssäule ausbildet, wird das durch die Querverbindung 56 aus dem Wirbelbett 54 überströmende Feststoff/Gas-Gemisch unter Einwirkung der Schwerkraft stark verdichtet. Es bildet sich hierbei in der Entgasungssäule 44 ein stark verdichtetes Wirbelbett 60 aus, wobei die ausgeschiedene Gasphase sich im oberen Ende 62 der Entgasungssäule 44 ansammelt. Am unteren Ende weist die Entgasungssäule 44 eine Austragvorrichtung 64 zum kontinuierlichen Austragen des stark verdichteten Wirbelbetts 60 in die pneumatische Förderleitung 22' auf. Diese Austragvorrichtung 64 umfasst vorteilhaft eine mit Gas beaufschlagte Auflockerungsvorrichtung 66, die das stark verdichtete Wirbelbett 60 auflockert, bevor es in die pneumatische Förderleitung 22' ausgetragen wird.

**[0020]** Die kontinuierliche Austragung des stark verdichteten Wirbelbetts 60 aus der Entgasungssäule 44 in die pneumatische Förderleitung 22'<sub>1</sub> wird hierbei über einen geregelten Gasabzug 68 am oberen Ende 62 der Entgasungssäule 44 derart geregelt, dass der Feststoffinhalt der Vorrichtung 40 weitgehend konstant bleibt. Hierzu weist der geregelte Gasabzug 68 ein Regelventil 70, einen Regler 72 und eine Messsonde 74 auf. Die Messsonde 74 erfasst eine Veränderung der Höhe des stark verdichteten Wirbelbetts 60 in der Entgasungssäule 44. Als Messsonde 74 eignen sich z.B. kapazitive Füllstandsmesser, bzw. Mikrowellenfüllstandsmesser. Bei einer Zunahme der Höhe des stark verdichteten Wirbelbetts 60, veranlasst der Regler 72, dass weniger Gas über das Regelventil 70 abgezogen wird. Hierdurch steigt der Gasdruck in der Entgasungssäule 44 an, und die Austragvorrichtung 64 trägt mehr Kohlenstaub in die pneumatische Förderleitung 22' aus. Bei einer Abnahme der Höhe des stark verdichteten Wirbelbetts 60, veranlasst der Regler 72, dass mehr Gas über das Regelventil 70 abgezogen wird. Hierdurch fällt der Gasdruck in der Entgasungssäule 44 ab, und die Austragvorrichtung 64 trägt weniger Kohlenstaub in die pneumatische Förderleitung 22 aus. Durch diese Regelung wird somit gewährleistet, dass der Feststoffstrom der kontinuierlich aus der Vorrichtung 40 ausgetragen wird, dem Feststoffstrom entspricht, der kontinuierlich in die Vorrichtung 40 eingetragen wird. Auf diese Art und Weise lässt sich in der pneumatischen Förderleitung 22'<sub>1</sub> stromabwärts der Vorrichtung 40 eine stabile Dichtstromförderung des Kohlenstaubs erzielen. Das aus dem oberen Ende 62 der Entgasungssäule 44 abgezogene Gas kann, wie in Fig. 1 gezeigt, über eine Leitung 76 in den Vorratsbunker zu-

rückgeführt werden, wo es zur Vorerwärmung des Kohlenstaubs beiträgt, bevor es über eine Filtervorrichtung 78 in die Atmosphäre abgeleitet wird.

**[0021]** Anhand der Figuren 3 bis 5 wird jetzt eine Vorrichtung 140 zum Erwärmen eines pneumatisch geförderten Feststoffs beschrieben, die eine interessante Alternative zur Vorrichtung 40 aus der Fig. 1 darstellt, da sie lediglich einen säulenförmigen Druckbehälter 142 umfasst. Letzterer weist ebenfalls eine Höhe von mehreren Metern aus und bildet einen Wirbelbettwärmetauscher aus. Der säulenförmige Druckbehälter 142 weist, wie der säulenförmige Druckbehälter 42, in seinem unteren Ende eine Fluidisierungsvorrichtung 146 mit einem Gasanschluss 148 für ein Auflockerungsgas auf. Eine solche Fluidisierungsvorrichtung 146 umfasst z.B. einen an sich bekannten, porösen Fluidisierungsboden 150, über den das Auflockerungsgas, im Falle von Kohlenstaub handelt es sich vorzugsweise um ein Inertgas, wie z.B. Stickstoff, über den gesamten Querschnitt des säulenförmigen Druckbehälters 142 gleichmäßig verteilt wird. Über eine Feststoff-Einlassvorrichtung 152 wird der Kohlenstaub aus der pneumatischen Förderleitung 22<sub>1</sub>, die von der Anlage 12 für die Aufbereitung des Kohlenstaubs kommt, unmittelbar oberhalb des Fluidisierungsbodens 150 in den Druckbehälter 142 eingeleitet. Das über den porösen Fluidisierungsboden 150 einströmende Auflockerungsgas trägt hierbei die Feststoffpartikel in die Höhe. Es bildet sich ein Wirbelbett 154 aus, das sich in dem säulenförmigen Druckbehälter 142 vom Fluidisierungsboden 150 bis ins obere Ende des Druckbehälters 142 erstreckt. In dem Druckbehälter 142 wird demnach ein Wirbelbett 154 mit einer Höhe von mehreren Metern aufrechterhalten, in dem sich die Kohlenstaubpartikel langsam von unten nach oben bewegen. Dieses Wirbelbett 154 wird durch einen Wärmetauscher erwärmt, der in Fig. 3 durch einen doppelwandigen Mantel 158 ausgebildet wird. Dieser Mantelwärmetauscher 158 umgibt das Wirbelbett 154 über den größten Teil seiner Höhe und wird von einem Wärmeträger, normalerweise ein Wärmeträgeröl, von oben nach unten durchströmt. Wie der Wirbelbettwärmetauscher 42, ist auch der Wirbelbettwärmetauscher 142 vorzugsweise derart ausgelegt, dass im Wirbelbett 154 Temperaturen und Verweilzeiten erreicht werden, die gewährleisten, dass im Wirbelbett 154 der größte Teil des hygroskopisch gebundenen Wassers verdampft.

**[0022]** Am oberen Ende des Wirbelbetts 154 wird über einen Zyklon 161, ein erwärmtes Feststoff/Gas-Gemisch aus dem Wirbelbett 154 entnommen, wobei das entnommene Feststoff/Gas-Gemisch durch Fliehkraft in einen schwachbeladene Gasphase und ein stark verdichtetes Feststoff/Gas-Gemisch aufteilt wird. Der Zyklon 161 ist vorteilhaft innerhalb des säulenförmigen Druckbehälters 142 angeordnet, wobei er einen Einlass 163 für die Entnahme eines Feststoff/Gas-Gemisch aus dem Wirbelbett 154, einen ersten Auslass 165 für einen verdichteten Feststoff/Gas-Strom und einen zweiten Auslass 167 für den schwachbeladenen Gasstrom aufweist. Der erste

Auslass 165 und der zweite Auslass 167 sind druckdicht aus dem säulenförmigen Druckbehälter 142 herausgeführt. Man beachte, dass der Zyklon 161, durch seine Anordnung innerhalb des Druckbehälters 142, selbst nicht als Druckbehälter ausgelegt zu werden braucht.

**[0023]** Der erste Auslass 165 des Zyklons 161 mündet unmittelbar in die pneumatische Förderleitung 22<sub>1</sub>, die zum Hochofen 10 führt. Über diesen ersten Auslass 165 wird somit ein stark verdichtete Feststoff/Gas-Gemisch kontinuierlich in die pneumatische Förderleitung 22<sub>1</sub> eingeleitet.

**[0024]** Der Durchsatz des stark verdichteten Feststoff/Gas-Gemisch in die pneumatische Förderleitung 22<sub>1</sub> wird hierbei über einen geregelten Gasabzug durch den zweiten Auslass 167 des Zyklons 161 derart geregelt, dass der gesamte Feststoffinhalt der Vorrichtung 140 weitgehend konstant bleibt. Hierzu weist der zweite Auslass 167 ein als Drosselvorrichtung ausgebildetes Regelorgan 170 für den geregelten Abzug eines schwachbeladenen Gasstroms aus dem Zyklon 161 auf. Dieses Regelorgan 170 bildet mit einem Regler 172 und einer Messsonde 174 einen Regelkreis. Die Messsonde 174 erfasst eine Veränderung der Höhe des Wirbelbetts 154. Bei einer Zunahme dieser Höhe, drosselt der Regler 172 über die Drosselvorrichtung 170 den zweiten Auslass 167, so dass weniger Gas über dem Zyklon 161 abgezogen wird. Hierdurch steigt der Gasdruck an, was ein Ansteigen des Massendurchsatzes im ersten Auslass 165 des Zyklons 161 bewirkt. Bei einer Abnahme der Höhe des Wirbelbetts 154, verringert der Regler 172 über die Drosselvorrichtung 170 die Drosselung des zweiten Auslass 167, so dass mehr Gas über dem Zyklon 161 abgezogen wird. Hierdurch fällt der Gasdruck im Zyklon 161, was eine Reduzierung des Massendurchsatzes im ersten Auslass 165 des Zyklons 161 bewirkt. Durch diese Regelung wird somit gewährleistet, dass der Feststoffstrom der kontinuierlich aus der Vorrichtung 140 ausgetragen wird, dem Feststoffstrom entspricht der kontinuierlich in die Vorrichtung 140 eingetragen wird. Auf diese Art und Weise lässt sich in der pneumatischen Förderleitung 22<sub>1</sub>, d.h. stromabwärts der Vorrichtung 140, eine stabile pneumatische Förderung des Kohlenstaubs erzielen.

**[0025]** Anhand der Fig. 4 & 5 wird nun eine vorteilhafte Ausgestaltung des Zyklons 161 beschrieben. Letzterer umfasst eine Abscheidekammer 180 mit einer tangentialen Einlasskammer 182, die den Einlass 163 im Wirbelbett 152 ausbildet. Die Abscheidekammer 180 verjüngt sich konisch nach unten und geht in den ersten Auslass 165 über. Sie ist über ein Rohr 184 mit einem Flansch 186 verbunden, der auf einem Gegenflansch 188 des Druckbehälters 142 gasdicht befestigt ist. Der zweite Auslass 167 ist zentral in der Abscheidekammer 180 angeordnet. Er wird durch einen senkrecht verschiebbaren Einlassstutzen 200 ausgebildet, der sich durch das Rohr 184 erstreckt und abgedichtet aus dem Druckbehälter 142 herausgeführt ist. Die senkrechte Verschiebung des Einlassstutzen 200 erfolgt über einen

außerhalb des Druckbehälters 142 angeordneten Stellantrieb 202 (siehe Fig. 3). Mit dem Bezugszeichen 204 ist ein feststehender Verschlusskörper bezeichnet, der zentral in den unteren Ausgang des Einlassstutzens 200 hineinragt. Hier wirkt er mit einer reduzierten Durchgangsöffnung 206 des Einlassstutzens 200 derart zusammen, dass je nach vertikaler Stellung des Einlassstutzens 200, der Verschlusskörper 204 die Durchgangsöffnung 206 mehr oder weniger einengt, d.h. den zweiten Auslass 167 mehr oder weniger drosselt.

**[0026]** Es bleibt anzumerken, dass die hierin beschriebene Höhenmessung des Wirbelbetts 54, 154 höchstwahrscheinlich die einfachste Art und Weise ist, eine Veränderung des Feststoffinhalts in den Vorrichtungen 40 und 140 festzustellen. Sie kann, falls nötig, noch durch eine oder mehrere Dichtemessungen des Wirbelbetts 54, 154 verfeinert werden. Es fällt jedoch nicht aus dem Rahmen der vorliegenden Erfindung, eine Veränderung des Feststoffinhalts der Vorrichtungen 40 und 140 auch durch andere Messverfahren, wie z.B. eine Gewichtsmessung, zu erfassen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Erwärmen eines kontinuierlichen Feststoffstroms, wobei:

ein Feststoffstrom kontinuierlich in einen Druckbehälter eingetragen wird;  
in diesem Druckbehälter durch Zugabe eines Auflockerungsgases ein Wirbelbett aufrechterhalten wird; und  
das Wirbelbett durch Wärmeaustausch mit einem Wärmeträger erwärmt wird;

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** ein Feststoff/Gas-Gemisch aus dem Wirbelbett kontinuierlich entnommen wird und durch Schwerkraft- oder Fliehkraft-Abscheidung in eine schwachbeladene Gasphase und ein stark verdichtetes Feststoff/Gas-Gemisch aufgeteilt wird;

**dass** das stark verdichtete Feststoff/Gas-Gemisch kontinuierlich in eine pneumatische Förderleitung ausgetragen und hierin pneumatisch weiterbefördert wird;

**dass** der Feststoffinhalt des Druckbehälters kontinuierlich überwacht wird, und

**dass** die kontinuierlich Austragung des stark verdichteten Feststoff/Gas-Gemischs in die pneumatische Förderleitung über einen geregelten Gasabzug aus der schwachbeladenen Gasphase derart geregelt wird, dass der Feststoffinhalt des Druckbehälters weitgehend konstant bleibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei:

bei einer Zunahme des Feststoffinhalts des

Druckbehälters, weniger Gas aus der schwachbeladenen Gasphase abgezogen wird; und  
bei einer Abnahme des Feststoffinhalts des Druckbehälters, mehr Gas aus der schwachbeladenen Gasphase abgezogen wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei der Feststoff durch Hygroskopizität Wasser an sich gebunden hat, und wobei der Feststoff im Wirbelbett derart erwärmt wird, dass ein Großteil dieses Wassers im Wirbelbett verdampft und in die Gasphase übergeht.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei:

der Feststoff ein Kohlenstaub ist, der vor dem Druckbehälter bei einer Temperatur von weniger als 100°C entfeuchtet wurde, so dass seine Oberflächenfeuchte beim Eintritt in das Wirbelbett vernachlässigbar ist, seine Porenfeuchte jedoch noch relativ hoch ist; und  
der Kohlenstaub im Wirbelbett bei Temperaturen zwischen 150°C und 250°C den größten Teil seiner Porenfeuchte verliert.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei:

der Druckbehälter einen Wirbelbettwärmetauscher und eine Entgasungssäule umfasst;  
der Feststoffstrom kontinuierlich am unteren Ende in den Wirbelbettwärmetauscher eingebracht wird;  
in diesem Wirbelbettwärmetauscher durch Zugabe eines Auflockerungsgases ein Wirbelbett aufrechterhalten wird;  
das Wirbelbett durch Wärmeaustausch mit einem Wärmeträger erwärmt wird;  
am oberen Ende des Wirbelbettwärmetauschers ein erwärmtes Feststoff/Gas-Gemisch aus dem Wirbelbett in die Entgasungssäule überströmt;  
das übergeströmte Feststoff/Gas-Gemisch in der Entgasungssäule ein unter Einwirkung der Schwerkraft stark verdichtetes Wirbelbett ausbildet, wobei die ausgeschiedene Gasphase sich im oberen Ende der Entgasungssäule ansammelt;  
das stark verdichtete Wirbelbett am unteren Ende der Entgasungssäule kontinuierlich in die pneumatische Förderleitung ausgetragen wird; und  
die kontinuierlich Austragung des stark verdichteten Wirbelbetts in die pneumatische Förderleitung über einen geregelten Gasabzug am oberen Ende der Entgasungssäule gesteuert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei:

das stark verdichteten Wirbelbett am unteren Ende der Entgasungssäule durch Zugabe eines Gases aufgelockert wird, bevor es in die pneumatische Förderleitung ausgetragen wird.

**7.** Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei:

eine Veränderung der Höhe des stark verdichteten Wirbelbetts in der Entgasungssäule erfasst wird;  
bei einer Zunahme dieser Höhe, weniger Gas aus der aus dem oberen Ende der Entgasungssäule abgezogen wird; und  
bei einer Abnahme dieser Höhe, mehr Gas aus der aus dem oberen Ende der Entgasungssäule abgezogen wird.

**8.** Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei:

das Druckbehälter einen Wirbelbettwärmetauscher umfasst;  
der Feststoffstrom kontinuierlich am unteren Ende in den Wirbelbettwärmetauscher eingebracht wird;  
in diesem Wirbelbettwärmetauscher durch Zugabe eines Auflockerungsgases ein Wirbelbett aufrechterhalten wird;  
das Wirbelbett durch Wärmeaustausch mit einem Wärmeträger erwärmt wird;  
ein erwärmtes Feststoff/Gas-Gemisch am oberen Ende aus dem Wirbelbett über einen Zyklon entnommen wird, wobei der Zyklon das entnommene Feststoff/Gas-Gemisch durch Fliehkraft in einen schwachbeladene Gasphase und ein stark verdichtetes Feststoff/Gas-Gemisch aufteilt;  
das stark verdichtete Feststoff/Gas-Gemisch kontinuierlich in die pneumatische Förderleitung eingeleitet wird; und  
über einen geregelten Gasabzug im Zyklon, der Durchsatz des Feststoff/Gas-Gemischs in die pneumatische Förderleitung gesteuert wird.

**9.** Verfahren nach Anspruch 8, wobei:

eine Veränderung der Höhe des Wirbelbetts im Wirbelbettwärmetauscher erfasst wird;  
bei einer Zunahme dieser Höhe, weniger Gas aus der aus dem Zyklon abgezogen wird; und  
bei einer Abnahme dieser Höhe, mehr Gas aus der aus dem Zyklon abgezogen wird.

**10.** Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, wobei der Zyklon im Wirbelbett angeordnet ist.

**11.** Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei:

der Zyklon eine einstellbare Düse für die Entnahme des schwachbeladenen Gasstroms aufweist.

**12.** Vorrichtung zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 5 bis 7, umfassend:

einen ersten säulenförmigen Druckbehälter (42), mit einem unteren Ende und einem oberen Ende, welcher den Wirbelbettwärmetauscher ausbildet und mindestens folgende Teile umfasst:

eine Einspeisung (52) für einen Feststoffstrom im unteren Ende des ersten säulenförmigen Druckbehälters (42);  
eine Fluidisierungsvorrichtung (46) im unteren Ende des ersten säulenförmigen Druckbehälters (42), zur Aufrechterhaltung eines Wirbelbetts (54) im ersten säulenförmigen Druckbehälter (42);  
einen Wärmetauscher (58) zum Erwärmen des Wirbelbetts (54);

einen zweiten säulenförmigen Druckbehälter (44), mit einem unteren Ende und einem oberen Ende, welcher die Entgasungssäule ausbildet und mindestens folgende Teile umfasst:

eine Austragvorrichtung (64) am unteren Ende der Entgasungssäule (44), zum kontinuierlichen Austragen des stark verdichteten Wirbelbetts (60) in die pneumatische Förderleitung (22<sub>1</sub>); und  
eine regelbare Gasabzugsvorrichtung (68) am oberen Ende der Entgasungssäule (44) zum geregelten Gasabzug des Gasstroms aus der schwachbeladenen Gasphase; und

eine Verbindung (56) zwischen den beiden oberen Enden der beiden säulenförmigen Druckbehälter (42 und 44), so dass das Feststoff/Gas-Gemisch am oberen Ende des Wirbelbettwärmetauschers (42) aus dem Wirbelbett (54) in die Entgasungssäule (44) überströmen kann.

**13.** Vorrichtung nach Anspruch 12, umfassend:

einer Messsonde (74) zum Messen der Höhe des stark verdichteten Wirbelbetts (60) in der Entgasungssäule (44); und  
einen Regelkreis zur Regelung der regelbaren Gasentnahmevorrichtung (68) in Abhängigkeit von der gemessenen Höhe des stark verdichteten Wirbelbetts (60) in der Entgasungssäule (44).

**14.** Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, wobei die

Austragvorrichtung eine mit Gas beaufschlagte Auflockerungsvorrichtung (66) umfasst.

15. Vorrichtung zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 8 bis 11, umfassend:

einen säulenförmigen Druckbehälter (142), mit einem unteren Ende und einem oberen Ende; eine Einspeisung (152) für einen Feststoffstrom im unteren Ende des säulenförmigen Druckbehälters (142); eine Fluidisierungsvorrichtung (146) im unteren Ende des säulenförmigen Druckbehälters (142), zur Aufrechterhaltung eines Wirbelbetts (154) im säulenförmigen Druckbehälter (142); einen Wärmetauscher (158) zum Erwärmen des Wirbelbetts (154); und einen Zyklon (161) der im oberen Ende des säulenförmigen Druckbehälters (142) angeordnet ist, wobei er einen Einlass (163) für die Entnahme eines Feststoff/Gas-Gemisch aus dem Wirbelbett (154), einen ersten Auslass (165) für einen verdichteten Feststoff/Gas-Strom und einen zweiten Auslass (167) für einen schwachbeladenen Gasstrom aufweist, wobei der erste und zweite Auslass (165, 167) druckdicht aus dem säulenförmigen Druckbehälter (142) herausgeführt sind, und der zweite Auslass (167) ein Regelorgan (170) für den geregelten Abzug eines schwachbeladenen Gasstroms aufweist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, umfassend:

einer Messsonde (174) zum Messen der Höhe des Wirbelbetts (154) in der Entgasungssäule; und einen Regelkreis zur Regelung Regelorgans für die Entnahme des schwachbeladenen Gasstroms in Abhängigkeit von der Messsonde (174) gemessenen Höhe.

17. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, wobei der Zyklon folgende Teile umfasst:

eine Abscheidekammer (180) mit einer tangentialen Einlasskammer (163) die den Einlass im Wirbelbett (154) ausbildet, wobei die Abscheidekammer (180) sich nach unten konisch verjüngt und in den ersten Auslass (165) übergeht, und der zweite Auslass (167) zentral in der Abscheidekammer (180) angeordnet ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, wobei das Regelorgan (170) als Drosselvorrichtung im Eingang des zweiten Auslass (167) ausgebildet ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, wobei die Drosselvorrichtung durch einen feststehenden, zentralen

Verschlusskörper (204) und einen senkrecht verschiebbaren Einlassstutzen (200) mit einer reduzierten Durchgangsöffnung (206) ausgebildet wird, und der Verschlusskörper (204), je nach vertikaler Stellung des Einlassstutzens (200), die Durchgangsöffnung (206) mehr oder weniger einengt.

## Claims

1. A method for heating a continuous stream of solids, wherein:

a stream of solids is introduced continuously into a pressure vessel;  
a fluidized bed is maintained in this pressure vessel by the addition of a loosening gas; and  
the fluidized bed is heated by heat exchange with a heat transfer medium;

## characterized in that

a solids/gas mixture is continuously removed from the fluidized bed and is divided, by gravity or centrifugal force separation, into a weakly laden gas phase and a highly compressed solids/gas mixture; the highly compressed solids/gas mixture is discharged continuously into a pneumatic conveying line, and is therein conveyed onward pneumatically; the solids content of the pressure vessel is continuously monitored, and  
the continuous discharge of the highly compressed solids/gas mixture into the pneumatic conveying line is controlled, by means of a controlled gas take-off from the weakly laden gas phase, in such a manner that the solids content of the pressure vessel remains substantially constant.

2. The method as claimed in claim 1, wherein:

in the event of an increase in the solids content in the pressure vessel, less gas is taken off from the weakly laden gas phase; and  
in the event of a decrease in the solids content of the pressure vessel, more gas is taken off from the weakly laden gas phase.

3. The method as claimed in one of claims 1 to 2, wherein the solid, by virtue of hygroscopicity, has water bound to it, and wherein the solid is heated in the fluidized bed in such a manner that a large proportion of this water evaporates in the fluidized bed and is converted into the gas phase.

4. The method as claimed in claim 3, wherein:

the solid is a coal dust which has been dried upstream of the pressure vessel at a temperature of less than 100°C, so that its surface mois-

ture content on entering the fluidized bed is negligible, but its pore moisture content is still relatively high; and  
the coal dust loses the majority of its pore moisture content in the fluidized bed at temperatures between 150°C and 250°C.

5. The method as claimed in one of claims 1 to 4, wherein:

the pressure vessel comprises a fluidized-bed heat exchanger and a degassing column;  
the solids stream is introduced continuously into the lower end of the fluidized-bed heat exchanger;  
a fluidized bed is maintained in this fluidized-bed heat exchanger by the addition of a loosening gas;  
the fluidized bed is heated by heat exchange with a heat transfer medium;  
a heated solids/gas mixture from the fluidized bed overflows into the degassing column at the upper end of the fluidized-bed heat exchanger;  
the overflow solids/gas mixture in the degassing column forms a fluidized bed which has been highly compressed under the action of the force of gravity, wherein the separated gas phase collects in the upper end of the degassing column;  
the highly compressed fluidized bed is discharged continuously into the pneumatic conveying line at the lower end of the degassing column; and  
the continuous discharge of the highly compressed fluidized bed into the pneumatic conveying line is controlled by controlled gas take-off at the upper end of the degassing column.

6. The method as claimed in claim 5, wherein:

the highly compressed fluidized bed is loosened at the lower end of the degassing column by the addition of a gas before it is discharged into the pneumatic conveying line.

7. The method as claimed in claim 5 or 6, wherein:

a change in the height of the highly compressed fluidized bed in the degassing column is recorded;  
in the event of an increase in this height, less gas is taken off from the upper end of the degassing column; and  
in the event of a decrease in this height, more gas is taken off from the upper end of the degassing column.

8. The method as claimed in one of claims 1 to 4, wherein:

in:

the pressure vessel comprises a fluidized-bed heat exchanger;  
the solids stream is introduced continuously into the lower end of the fluidized-bed heat exchanger;  
a fluidized bed is maintained in this fluidized-bed heat exchanger by the addition of a loosening gas;  
the fluidized bed is heated by heat exchange with a heat transfer medium;  
a heated solids/gas mixture is removed from the upper end of the fluidized bed via a cyclone, the cyclone dividing the removed solids/gas mixture into a weakly laden gas phase and a highly compressed solids/gas mixture by centrifugal force;  
the highly compressed solids/gas mixture is introduced continuously into the pneumatic conveying line; and  
the throughput of the solids/gas mixture into the pneumatic conveying line is controlled by a controlled gas take-off in the cyclone.

9. The method as claimed in claim 8, wherein:

a change in the height of the fluidized bed in the fluidized-bed heat exchanger is recorded;  
in the event of an increase in this height, less gas is removed from the cyclone; and  
in the event of a decrease in this height, more gas is removed from the cyclone.

10. The method as claimed in claim 8 or 9, wherein the cyclone is arranged in the fluidized bed.

11. The method as claimed in one of claims 8 to 10, wherein:

the cyclone has an adjustable nozzle for the take-off of the weakly laden gas stream.

12. An apparatus for carrying out the method as claimed in one of claims 5 to 7, comprising:

a first pressure vessel (42) in column form, having a lower end and an upper end, which forms the fluidized-bed heat exchanger and comprises at least the following parts:

a feed means (52) for a solids stream at the lower end of the first pressure vessel (42) in column form;  
a fluidization apparatus (46) in the lower end of the first pressure vessel (42) in column form, for maintaining a fluidized bed (54) in the first pressure vessel (42) in column form;

a heat exchanger (58) for heating the fluidized bed (54);

a second pressure vessel (44) in column form, having a lower end and an upper end, which forms the degassing column and comprises at least the following parts:

a discharge device (64) at the lower end of the degassing column (44), for continuously discharging the highly compressed fluidized bed (60) into the pneumatic conveying line (22<sub>1</sub>); and  
a controllable gas take-off apparatus (68) at the upper end of the degassing column (44) for taking off the gas stream from the weakly laden gas phase in a controlled manner; and

a connection (56) between the two upper ends of the two pressure vessels (42 and 44) in column form, so that the solids/gas mixture at the upper end of the fluidized-bed heat exchanger (42), can overflow from the fluidized bed (54) into the degassing column (44).

**13.** The apparatus as claimed in claim 12, comprising:

a measurement probe (74) for measuring the height of the highly compressed fluidized bed (60) in the degassing column (44); and  
a control circuit for controlling the controllable gas take-off apparatus (68) as a function of the measured height of the highly compressed fluidized bed (60) in the degassing column (44).

**14.** The apparatus as claimed in claim 12 or 13, wherein the discharge apparatus comprises a loosening apparatus (66), which is acted on by gas.

**15.** An apparatus for carrying out the method as claimed in one of claims 8 to 11, comprising:

a pressure vessel (142) in column form, having a lower end and an upper end;  
a feed means (152) for feeding in a solids stream at the lower end of the pressure vessel (142) in column form;  
a fluidization apparatus (146) in the lower end of the pressure vessel (142) in column form, for maintaining a fluidized bed (154) in the pressure vessel (142) in column form;  
a heat exchanger (158) for heating the fluidized bed (154); and  
a cyclone (161) which is arranged in the upper end of the pressure vessel (142) in column form, the cyclone having an inlet (163) for the take-off of a solids/gas mixture from the fluidized bed

(154), a first outlet (165) for a compressed solids/gas stream, and a second outlet (167) for a weakly laden gas stream, the first and second outlets (165, 167) leading out of the pressure vessel (142) in column form in a pressure-tight manner, and the second outlet (167) has a control member (170) for the controlled take-off of a weakly laden gas stream.

**16.** The apparatus as claimed in claim 15, comprising:

a measurement probe (174) for measuring the height of the fluidized bed (154) in the degassing column; and  
a control circuit for controlling the control member for the take-off of the weakly laden gas stream as a function of the height measured by the measurement probe (174).

**17.** The apparatus as claimed in claim 15 or 16, wherein the cyclone comprises the following parts:

a separation chamber (180) having a tangential inlet chamber (163) which forms the inlet in the fluidized bed (154), the separation chamber (180) tapering conically downward and merging into the first outlet (165), and the second outlet (167) being arranged centrally in the separation chamber (180).

**18.** The apparatus as claimed in claim 17, wherein the control member (170) is designed as a throttling apparatus in the entry of the second outlet (167).

**19.** The apparatus as claimed in claim 18, wherein the throttling apparatus is formed by a stationary, central closure body (204) and a vertically displaceable inlet connection piece (200) with a reduced passage opening (206), and the closure body (204) constricts the passage opening (206) to a greater or lesser extent depending on the vertical position of the inlet connection piece (200).

## Revendications

**1.** Procédé pour chauffer un flux de matière solide continu :

un flux de matière solide étant alimenté de manière continue dans un réservoir sous pression ;  
un lit fluidisé étant maintenu dans ce réservoir sous pression par apport d'un gaz de dispersion ; et  
le lit fluidisé étant chauffé par échange de chaleur avec un caloporteur ;

caractérisé

**en ce qu'un** mélange de matière solide-gaz est retiré de manière continue du lit fluidisé et divisé, par séparation sous l'effet de la force de gravité ou d'une force centrifuge, en une phase gazeuse faiblement chargée et un mélange de matière solide-gaz fortement compacté ; 5

**en ce que** le mélange de matière solide-gaz fortement compacté est déchargé de manière continue dans une conduite de transport pneumatique dans laquelle son transport par voie pneumatique se poursuit ; 10

**en ce que** la teneur en matière solide du réservoir sous pression fait l'objet d'une surveillance continue et

**en ce que** la décharge continue du mélange de matière solide-gaz fortement compacté dans la conduite de transport pneumatique est régulée par le biais d'une évacuation de gaz régulée de la phase gazeuse faiblement chargée de manière à ce que la teneur en matière solide du réservoir sous pression reste essentiellement constante. 15 20

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel :

en cas d'augmentation de la teneur en matière solide du réservoir sous pression, on évacue moins de gaz de la phase gazeuse faiblement chargée ; et 25

en cas de diminution de la teneur en matière solide du réservoir sous pression, on évacue plus de gaz de la phase gazeuse faiblement chargée. 30

3. Procédé selon l'une des revendications 1 à 2, dans lequel de l'eau s'est liée à la matière solide par hygroscopicité et dans lequel la matière solide dans le lit fluidisé est chauffée de manière à ce qu'une grande partie de cette eau s'évapore dans le lit fluidisé et passe en phase gazeuse. 35

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel :

la matière solide est une poudre de charbon qui a été déshydratée, avant le réservoir sous pression, à une température inférieure à 100°C de manière à ce que son humidité superficielle soit négligeable lors de l'entrée dans le lit fluidisé mais que l'humidité contenue dans ses pores soit encore relativement élevée ; et 45  
la poudre de charbon dans le lit fluidisé perd la plus grande partie de l'humidité contenue dans ses pores en présence de températures comprises entre 150°C et 250°C. 50

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel : 55

le réservoir sous pression comprend un échangeur

de chaleur à lit fluidisé et une colonne de dégazage ;

le flux de matière solide est chargé de manière continue dans l'échangeur de chaleur à lit fluidisé au niveau de son extrémité inférieure ;

un lit fluidisé est maintenu dans cet échangeur de chaleur à lit fluidisé par apport d'un gaz de dispersion ;

le lit fluidisé est chauffé par échange de chaleur avec un caloporteur ;

un mélange de matière solide-gaz chauffé s'écoule du lit fluidisé dans la colonne de dégazage au niveau de l'extrémité supérieure de l'échangeur de chaleur à lit fluidisé ;

le mélange de matière solide-gaz passé dans la colonne de dégazage forme, sous l'effet de la force de gravité, un lit fluidisé fortement compacté, la phase gazeuse séparée s'accumulant dans l'extrémité supérieure de la colonne de dégazage ;

le lit fluidisé fortement compacté est déchargé de manière continue dans la conduite de transport pneumatique au niveau de l'extrémité inférieure de la colonne de dégazage ; et

la décharge continue du lit fluidisé fortement compacté dans la conduite de transport pneumatique est commandée par une évacuation de gaz régulée au niveau de l'extrémité supérieure de la colonne de dégazage.

6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel :

le lit fluidisé fortement compacté est décomprimé au niveau de l'extrémité inférieure de la colonne de dégazage par apport d'un gaz avant d'être déchargé dans la conduite de transport pneumatique.

7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, dans lequel : 40

un changement de hauteur du lit fluidisé fortement compacté dans la colonne de dégazage est détecté ;

en cas d'augmentation de cette hauteur, on évacue moins de gaz de l'extrémité supérieure de la colonne de dégazage ; et

en cas de diminution de cette hauteur, on évacue plus de gaz de l'extrémité supérieure de la colonne de dégazage.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel :

le réservoir sous pression comprend un échangeur de chaleur à lit fluidisé ;

le flux de matière solide est alimenté de manière continue dans l'échangeur de chaleur à lit fluidisé au niveau de son extrémité inférieure ;

- un lit fluidisé est maintenu dans cet échangeur de chaleur à lit fluidisé par apport d'un gaz de dispersion ;  
le lit fluidisé est chauffé par échange de chaleur avec un caloporteur ;  
un mélange de matière solide-gaz chauffé est retiré du lit fluidisé par le biais d'un cyclone au niveau de l'extrémité supérieure, le cyclone divisant le mélange de matière solide-gaz retiré, sous l'effet d'une force centrifuge, en une phase gazeuse faiblement chargée et un mélange de matière solide-gaz fortement compacté ;  
le mélange de matière solide-gaz fortement compacté est introduit de manière continue dans la conduite de transport pneumatique ; et le débit du mélange de matière solide-gaz dans la conduite de transport pneumatique est commandé par une évacuation de gaz régulée dans le cyclone.
9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel :
- un changement de hauteur du lit fluidisé dans l'échangeur de chaleur à lit fluidisé est détecté ; en cas d'augmentation de cette hauteur, on évacue moins de gaz du cyclone ; et en cas de diminution de cette hauteur, on évacue plus de gaz du cyclone.
10. Procédé selon l'une des revendications 8 ou 9, dans lequel le cyclone est situé dans le lit fluidisé.
11. Procédé selon l'une des revendications 8 à 10, dans lequel :
- le cyclone est pourvu d'une buse réglable pour le retrait du flux gazeux faiblement chargé.
12. Dispositif pour l'exécution du procédé selon l'une des revendications 5 à 7, comprenant :
- un premier réservoir sous pression en forme de colonne (42) pourvu d'une extrémité inférieure et d'une extrémité supérieure, qui forme l'échangeur de chaleur à lit fluidisé et comprend au moins les parties suivantes :
- une alimentation (52) pour un flux de matière solide dans l'extrémité inférieure du premier réservoir sous pression en forme de colonne (42) ;  
un dispositif de fluidisation (46) dans l'extrémité inférieure du premier réservoir sous pression en forme de colonne (42) pour maintenir un lit fluidisé (54) dans le premier réservoir sous pression en forme de colonne (42) ;  
un échangeur de chaleur (58) pour chauffer
- le lit fluidisé (54) ;
- un second réservoir sous pression en forme de colonne (44) pourvu d'une extrémité inférieure et d'une extrémité supérieure, qui forme la colonne de dégazage et comprend au moins les parties suivantes :
- un dispositif de décharge (64) à l'extrémité inférieure de la colonne de dégazage (44) pour la décharge continue du lit fluidisé fortement compacté (60) dans la conduite de transport pneumatique (22') ; et  
un dispositif d'évacuation de gaz réglable (68) à l'extrémité supérieure de la colonne de dégazage (44) pour l'évacuation de gaz régulée du flux gazeux de la phase gazeuse faiblement chargée ; et
- une liaison (56) entre les deux extrémités supérieures des deux réservoirs sous pression en forme de colonne (42 et 44), de manière à ce que le mélange de matière solide-gaz puisse s'écouler du lit fluidisé (54) dans la colonne de dégazage (44) au niveau de l'extrémité supérieure de l'échangeur de chaleur à lit fluidisé (42).
13. Dispositif selon la revendication 12, comprenant :
- une sonde de mesure (74) pour mesurer la hauteur du lit fluidisé fortement compacté (60) dans la colonne de dégazage (44) ; et  
un circuit de régulation pour régler le dispositif de retrait de gaz réglable (68) en fonction de la hauteur mesurée du lit fluidisé fortement compacté (60) dans la colonne de dégazage (44).
14. Dispositif selon la revendication 12 ou 13, le dispositif de décharge comprenant un dispositif de dispersion (66) alimenté en gaz.
15. Dispositif pour l'exécution du procédé selon l'une des revendications 8 à 11, comprenant :
- un réservoir sous pression en forme de colonne (142) pourvu d'une extrémité inférieure et d'une extrémité supérieure ;  
une alimentation (152) pour un flux de matière solide dans l'extrémité inférieure du réservoir sous pression en forme de colonne (142) ;  
un dispositif de fluidisation (146) dans l'extrémité inférieure du réservoir sous pression en forme de colonne (142) pour maintenir un lit fluidisé (154) dans le réservoir sous pression en forme de colonne (142) ;  
un échangeur de chaleur (158) pour chauffer le lit fluidisé (154) ; et

un cyclone (161) situé dans l'extrémité supérieure du réservoir sous pression en forme de colonne (142), le cyclone étant pourvu d'une admission (163) pour le retrait d'un mélange de matière solide-gaz du lit fluidisé (154), d'une première sortie (165) pour un flux de matière solide-gaz compacté et d'une seconde sortie (167) pour un flux gazeux faiblement chargé, la première et la seconde sorties (165, 167) étant étanches à la pression au niveau de leur sortie du réservoir sous pression en forme de colonne (142) et la seconde sortie (167) étant pourvue d'un organe de réglage (170) pour l'évacuation régulée d'un flux gazeux faiblement chargé.

5

10

15

**16.** Dispositif selon la revendication 15, comprenant :

une sonde de mesure (174) pour mesurer la hauteur du lit fluidisé (154) dans la colonne de dégazage ; et  
un circuit de régulation pour régler l'organe de réglage pour le retrait du flux gazeux faiblement chargé en fonction de la hauteur mesurée par la sonde de mesure (174).

20

25

**17.** Dispositif selon la revendication 15 ou 16, le cyclone comprenant les parties suivantes :

une chambre de séparation (180) pourvue d'une chambre d'admission tangentielle (163) qui forme l'admission dans le lit fluidisé (154), la chambre de séparation (180) se rétrécissant de manière conique vers le bas et se confondant dans la première sortie (165), et la seconde sortie (167) étant située de manière centrale dans la chambre de séparation (180).

30

35

**18.** Dispositif selon la revendication 17, l'organe de réglage (170) étant exécuté en tant que dispositif à étranglement dans l'entrée de la seconde sortie (167).

40

**19.** Dispositif selon la revendication 18, le dispositif à étranglement étant formé par un corps de fermeture central fixe (204) et un tuyau d'admission (200) mobile dans le sens vertical pourvu d'une ouverture de passage réduite (206), et le corps de fermeture (204) réduisant plus ou moins l'ouverture de passage (206) en fonction de la position verticale du tuyau d'admission (200).

45

50

55

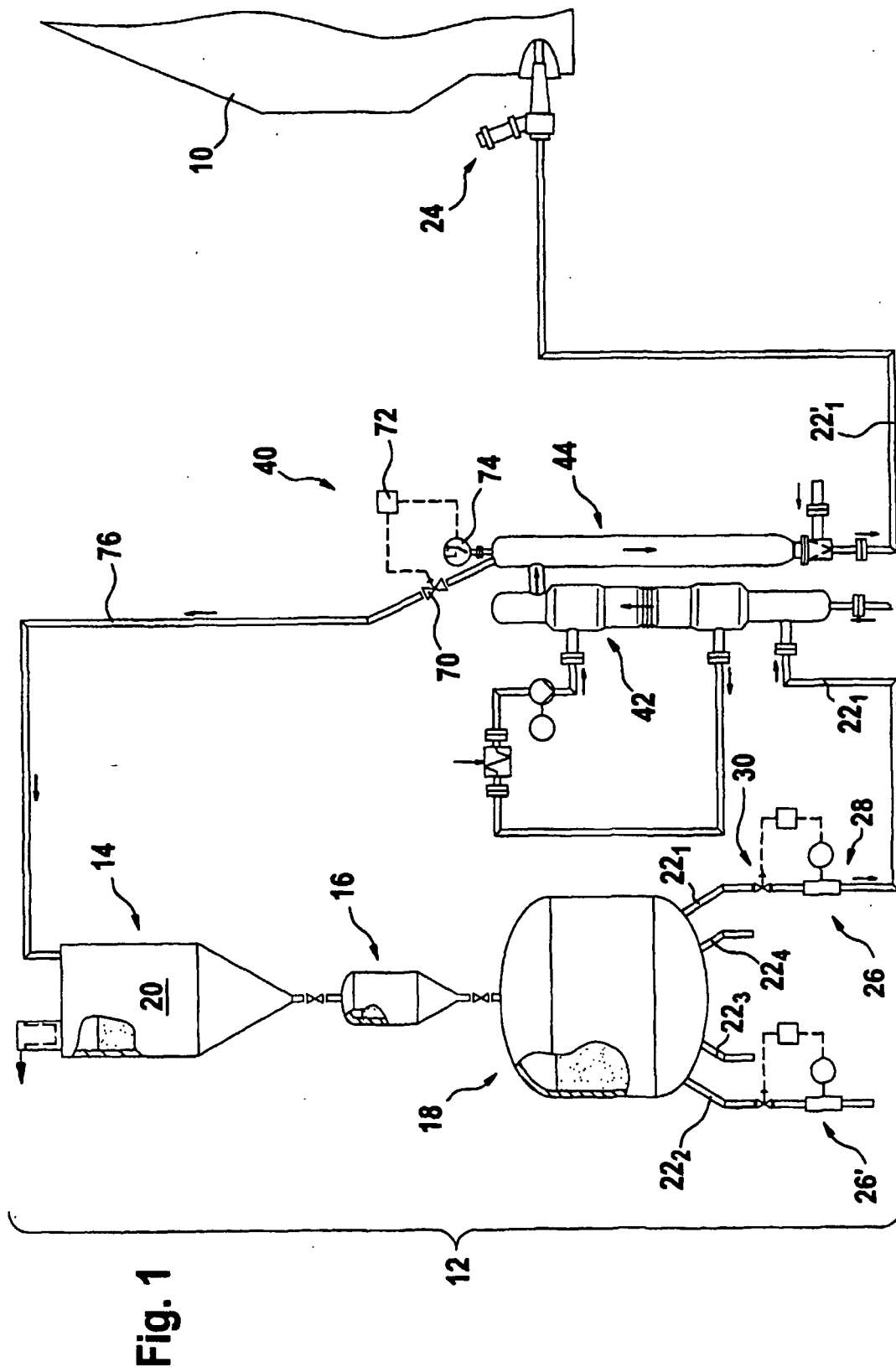


Fig. 2

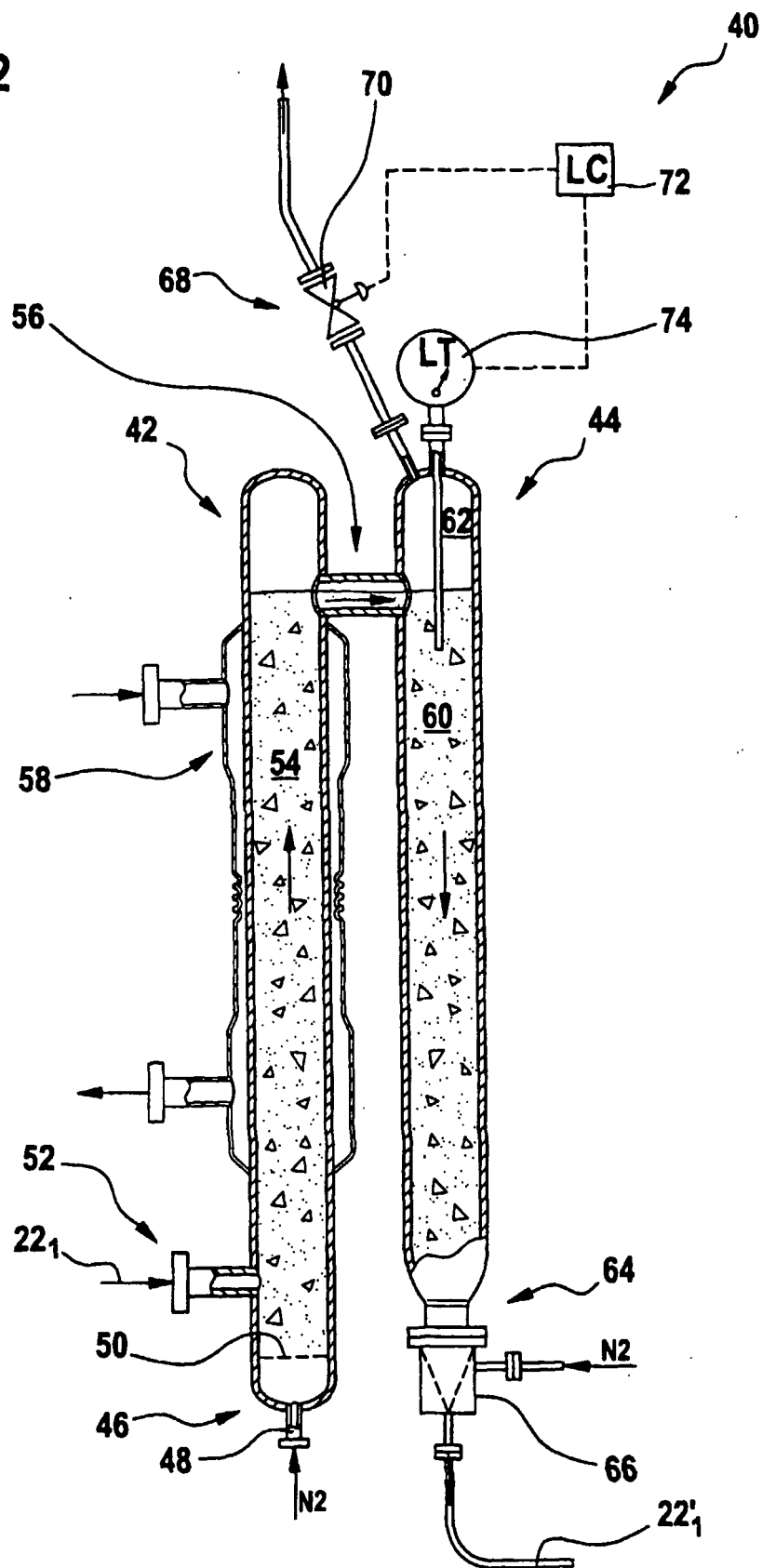


**Fig. 3**

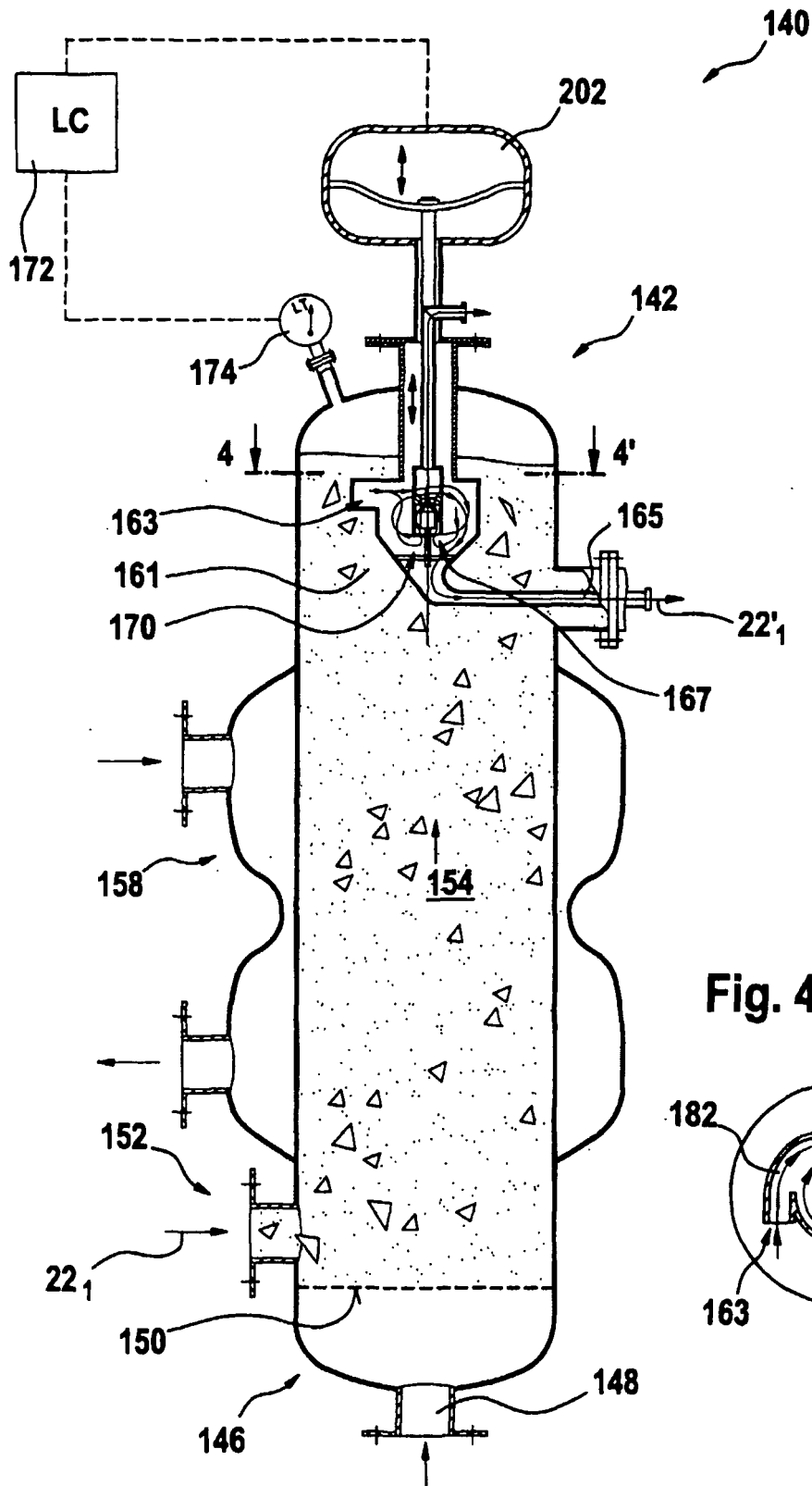


**Fig. 4**

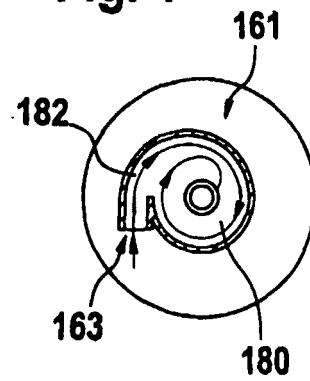


Fig. 5

