



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft  
Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum

(11) CH 706 172 A2

(51) Int. Cl.: B01J 3/04 (2006.01)  
B01J 19/18 (2006.01)  
C10B 53/00 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 00242/12

(71) Anmelder:  
NK New Knowledge AG, WBK-Strasse 1  
9466 Sennwald (CH)

(22) Anmeldedatum: 24.02.2012

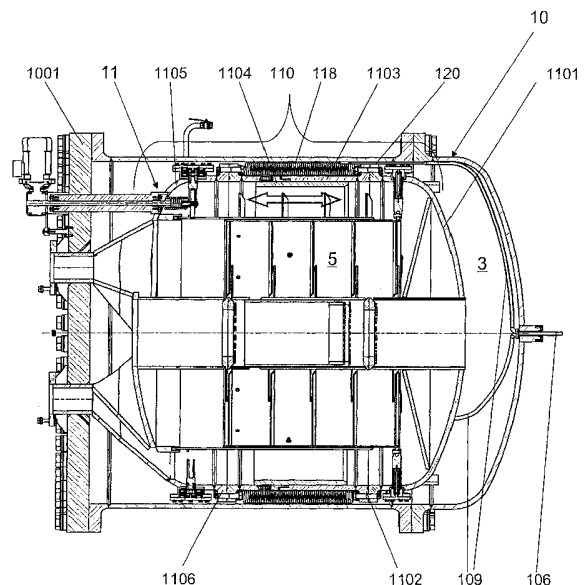
(72) Erfinder:  
Roland Rebsamen, 9470 Buchs (CH)

(43) Anmeldung veröffentlicht: 30.08.2013

(74) Vertreter:  
Schneider Feldmann AG Patent- und Markenanwälte,  
Beethovenstrasse 49, Postfach 2792  
8022 Zürich (CH)

(54) **Karbonisierungsbehälter als Teil eines Reaktors geeignet zur hydrothermalen Karbonisierung.**

(57) Bei einem Karbonisierungsbehälter (11), in welchem die hydrothermale Karbonisierung, ein Verrühren und ein Durchleiten eines hochviskosen und/oder feststoffbeladenen Prozessmediums stattfinden kann, umfassend einen Karbonisierungsbehältermantel (110), welcher ein Karbonisierungsbehälterhohlvolumen einschliesst, soll eine Möglichkeit geschaffen werden, den Karbonisierungsdruck und die Karbonisierungstemperatur des Prozessmediums im Karbonisierungsbehälter (11) voneinander zu entkoppeln. Dies wird dadurch erreicht, dass mindestens ein Teil des Karbonisierungsbehältermantels (110) mehrteilig ausgestaltet ist, wobei die Teile druck- und flüssigkeitsdicht voneinander getrennt angeordnet sind und definiert reproduzierbar relativ zueinander bewegbar gelagert sind, sodass das Karbonisierungsbehälterhohlvolumen gezielt veränderbar ist und der Innendruck auf das Prozessmedium im Karbonisierungsbehälter (11) unabhängig von der Prozess Temperatur einstellbar ist.



## Beschreibung

### Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung beschreibt einen druckdichten Karbonisierungsbehälter in welchem die hydrothermale Karbonisierung, ein Verrühren und ein Durchleiten eines hochviskosen und/oder feststoffbeladenen Prozessmediums stattfinden kann, umfassend einen Karbonisierungsbehältermantel, welcher ein Karbonisierungsbehälterhohlraum einschliesst, sowie einen Reaktor, umfassend einen derartigen Karbonisierungsbehälter, die Verwendung eines druckdichten Karbonisierungsbehälters zur hydrothermalen Karbonisierung eines eingefüllten Prozessmediums und eine hydrothermale Karbonisierungsanlage.

### Stand der Technik

**[0002]** Unter hydrothermalen Karbonisierung (HTC) oder auch nasser Verkohlung versteht man die Veredelung von nasser oder feuchter Biomasse in wässriger meist saurer Umgebung bei erhöhten Temperaturen um 200°C und erhöhten Drücken von mehr als 18 bar in einem druckdichten Karbonisierungsbehälter. Um die hydrothermale Karbonisierung zu starten, muss das aus Biomasse, Wasser und katalytisch wirkenden Stoffen zu Beginn einmalig auf die erhöhte Temperatur erhitzt werden. Anschliessend reagieren die Edukte zu Zwischenprodukten und letztlich zu Karbonisierungsprodukten, welche in Form einer Biokohle- oder Braunkohlesuspension vorliegen, die neben Kohle auch Prozesswasser und Restsubstanzen enthält. Mittels hydrothermalen Karbonisierung wird der natürlich Prozess der Kohlebildung innerhalb von einigen Stunden technisch nachgebildet und vor allem die hohe Kohlenstoffeffizienz zeichnet die HTC aus.

**[0003]** In der vorliegenden Anmeldung wird als vergärbare Biomasse und damit als Teil der Edukte, die durch die hydrothermale Karbonisierung zu Kohle verarbeitet werden kann, bevorzugt eine Mischung aus Klärschlamm und Grünschnittabfällen verstanden. In dem beschriebenen Reaktor können aber auch andere biogene Reststoffe, insbesondere nachwachsende Rohstoffe, wie Holzhackschnitzel, Grünschnitt aus der Landschaftspflege, Pflanzen, Stroh, Silage, und organische Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft sowie der Nahrungsmittelindustrie und Entsorgungswirtschaft, sowie auch Torf, Rohbraunkohle, Papierschlämme, zu Massen mit hohem Anteil von Kohle veredelt werden.

**[0004]** Da die beschriebene Reaktion eines hochviskosen und feststoffbeladenen Prozessmediums einer mit Biomasse versetzten Flüssigkeit und damit eines Fest-Flüssig-Gemisches in Reaktionszeiten von einigen Stunden unter hohem Druck und erhöhten Temperaturen abläuft, sind speziell angepasste Reaktoren nötig, um einen gewünschten kontinuierlichen oder quasikontinuierlichen Reaktionsablauf gesichert zu ermöglichen. Reaktoren mit Prozessbehältern und Rühr- und Fördereinrichtungen aus benachbarten Gebieten der Verfahrenstechnik sind darum in der Regel unbrauchbar und müssten grundsätzlich stark angepasst werden, um für die hydrothermale Karbonisierung einsetzbar zu sein.

**[0005]** Aus der DE 102 009 015 257 geht hervor, dass der Druck im Karbonisierungsbehälter während der Reaktion mindestens dem Sattampfdruck des Reaktionsgemisches bei der gewählten Reaktionstemperatur entsprechen oder darüber liegen muss. Je nach erreichter Reaktionstemperatur stellt sich in dem gasdichten Karbonisierungsbehälter ein resultierender Druck ein. Je nach Wahl der umzuwandelnden Biomasse variiert die Reaktionstemperatur um 200° C. Der Druck korrespondiert damit mit der gewählten Reaktionstemperatur und die apparativen Vorrichtungen müssen entsprechend an die zu erreichende Reaktionstemperatur und den korrespondierenden Druck angepasst sein.

**[0006]** Die DE 102 008 028 953 beschreibt einen druckfesten Karbonisierungsbehälter, in dessen Innenraum Biomasse auf eine gewünschte Reaktionstemperatur bringbar ist. Der Behälterdruck wird auf ein Niveau angehoben, das über dem Wert liegt, der dem Verdampfungsdruck bei der eingestellten Reaktionstemperatur entspricht. Der Innenraum des Karbonisierungsbehälters wird nach einmaliger Beaufschlagung während der Reaktion unter einem konstanten Behälterdruck gehalten. Mittels hydromechanischer Schleusen wird das zu karbonisierende Füllgut auf einen ausreichend hohen Druck gebracht und erst dann in den unter Druck stehenden Karbonisierungsbehälter eingeschleust. Bei diesem Vorgehen ist die Reaktionstemperatur nicht vom Reaktionsdruck entkoppelt. Lediglich frisches Füllgut, kann in den Karbonisierungsbehälter ohne Druckverlust eingeschleust werden, womit eine nachteilige periodische Druckbelastung und Druckentlastung wie von einem diskontinuierlichen Vorgang bekannt entfällt. Bauteile können geschont werden und die Lebensdauer des Karbonisierungsbehälters kann erhöht werden. Es ist aber keine Entkopplung und damit keine Optimierung des Karbonisierungsvorganges erreichbar. Nachteilig ist die technische aufwändige Gestaltung mittels Ventilen und Pumpen, welche stör anfällig sind, wobei eine grosse Verstopfungsgefahr besteht.

**[0007]** In der WO 2 008 113 309 wird ein Karbonisierungsbehälter beschrieben in welchem die hydrothermale Karbonisierung abläuft, wobei der Karbonisierungsbehälter unterhalb der Erdoberfläche angeordnet ist. Da die zur Reaktion notwendigen Temperaturen und Drücke von der Art der Biomasse abhängen, sind die Prozessparameter entsprechend an die verwendete Biomasse gebunden. Um eine Vergleichsmässigung der Produktqualität und eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Prozesses der hydrothermalen Karbonisierung zu erreichen, ist die Entkopplung von Reaktionstemperatur und Druck gewünscht. In der WO 2 008 113 309 wird dies durch die Verlagerung des Karbonisierungsbehälters ins Erdreich erreicht, wobei eine über dem Reaktionsvolumen befindliche Wassersäule einen von der Höhe der Wassersäule abhängigen hydrostatischen Druck im Reaktionsvolumen erzeugt. Die Wassersäule wird als Druckpuffer verwendet. Eine gemäss WO 2 008 113 309 vorgeschlagene Anlage scheint nur in sehr grossen Ausgestaltungen wirtschaftlich zu sein. Es muss ein entsprechend grosser Schacht für den Karbonisierungsbehälter vorhanden sein und eine notwendige Wassersäule mit

dem Karbonisierungsbehälter verbunden werden. Der WO 2 008 113 309 kann keine Lehre entnommen werden, wie ein gasdichter Karbonisierungsbehälter im Labormassstab so ausgestaltet werden kann, dass eine Entkopplung von Reaktionstemperatur und Druck zur Erreichung der obigen Vorteile geschaffen werden kann. Die grossvolumige Ausgestaltung lässt sich nicht einfach auf einen kleineren Massstab bringen.

### Darstellung der Erfindung

**[0008]** Die vorliegende Erfindung hat sich zur Aufgabe gestellt einen Karbonisierungsbehälter für eine kompakte Anlage zur hydrothermalen Karbonisierung in einem quasikontinuierlichen Prozess zu schaffen, welcher kompakt und auch im Labormassstab ausführbar ist, wobei der Innenraumdruck und die Karbonisierungstemperatur des Prozessmediums im Karbonisierungsbehälter voneinander entkoppelt sind. Eine weitere Aufgabe ist die Beschleunigung der hydrothermalen Karbonisierung durch eine gezielte Druckerhöhung während des Prozesses, wobei nur ein geringer Energieeintrag notwendig ist.

**[0009]** Diese Aufgabe löst ein kompakter druck- und flüssigkeitsdichter Karbonisierungsbehälter mit einem definiert, reproduzierbar variierbaren Karbonisierungsbehälterhohlraumvolumen oder Fassungsvermögen.

**[0010]** Durch die spezielle Ausgestaltung mit einem mindestens teilweise bewegbarem Karbonisierungsbehältermantel des Karbonisierungsbehälters können mit mechanischen und/oder hydraulischen Druckbeaufschlagungsmitteln Innenräume auf das Prozessmedium samt expandierendem Wasserdampf bei der Karbonisierung erzeugt werden. Diese Druckbeaufschlagungsmittel führen zu einem Innenraumdruck, welcher unabhängig von der Innenraumtemperatur bzw. der Temperatur des Prozessmediums sind, wodurch die Karbonisierungsbedingungen optimiert werden können.

**[0011]** Die Druckbeaufschlagungsmittel können einerseits durch mechanische Kräfte erzeugt werden und andererseits durch eine definierte Beaufschlagung des Karbonisierungsbehälters hydraulisch mittels Fluid erzeugt werden.

### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0012]** Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Erfindungsgegenstandes wird nachstehend im Zusammenhang mit den anliegenden Zeichnungen beschrieben.

- Fig. 1a zeigt eine perspektivische Ansicht eines Aussenbehälters eines Reaktors, der auf einer Reaktorlagervorrichtung gelagert ist und an eine Zu- und Abführvorrichtung gekoppelt ist, während
- Fig. 1b eine Seitenansicht des Aussenbehälters mit Blick auf den Basisboden zeigt.
- Fig. 2 zeigt eine perspektivische Ansicht eines Reaktors mit angeschlossener Zu- und Abführvorrichtung, wobei die Reaktorlagervorrichtung weggelassen wurde, während
- Fig. 3 eine Seitenansicht des Reaktors aus Fig. 2 zeigt.
- Fig. 4 zeigt einen Horizontalschnitt durch den Reaktor gemäss Linie C-C aus Fig. 3, wobei der Prozessbehälter im Innenraum des Aussenbehälters deutlich wird.
- Fig. 5a zeigt einen Vertikalschnitt des Reaktors gemäss Figur 1a, wobei der besseren Übersichtlichkeit wegen, die Zu- und Abführvorrichtung weggelassen wurde und
- Fig. 5b zeigt einen Schnitt in perspektivischer Ansicht durch den Reaktor gemäss Fig. 5a.
- Fig. 6 zeigt einen Längsschnitt durch einen Reaktor.
- Fig. 7a zeigt einen Längsschnitt durch einen Karbonisierungsbehälter, befestigt am Basisboden mit weggelassenen Druckbeaufschlagungsmitteln im gestauchten Zustand, während
- Fig. 7b einen Längsschnitt durch einen Karbonisierungsbehälter in verlängertem Zustand zeigt.

### Beschreibung

**[0013]** Die vorliegende Anmeldung beschreibt eine hydrothermale Karbonisierungsanlage, umfassend einen mehrteiligen Reaktor 1 in welchem die hydrothermale Karbonisierung eines hochviskosen und/oder feststoffbeladenen Prozessmediums effizient und kontinuierlich durchführbar ist. Das hochviskose und/oder feststoffbeladene Prozessmedium umfasst Füllgut, welches aus Rohbiomasse verschiedener Zusammensetzung und Konsistenz, Prozesswasser und Zusatzstoffen, z.B. Katalysatoren besteht. Das Prozessmedium liegt aufgrund seiner Zusammensetzung als Suspension oder als Schlamm vor, wobei Flüssigkeitsanteile mit Feststoffen gemischt sind. Der Füllgutanteil des Prozessmediums wird auch als Edukt betrachtet, da es ein Fest-Flüssig-Gemisch bildet welches im Verlauf der hydrothermalen Karbonisierung in Karbonisierungsprodukte, umfassend verkohlte Biomasse umgewandelt wird. Die Karbonisierungsprodukte bilden einen

verkohlenen Teil des Prozessmediums, welcher eine ähnliche fest-flüssige Konsistenz hat, wie die Edukte, wobei die festen Bestandteile bestenfalls vollständig in Braunkohle umgesetzt wurden.

**[0014]** Die Edukte werden in den Reaktor 1 der Karbonisierungsanlage eingeschleust, unter hohem Druck und erhöhter Temperatur, wie aus den Grundlagen der hydrothermalen Karbonisierung bekannt, verkohlt nach dem Vorgang als Karbonisierungsprodukte aus dem Reaktor 1 ausgeschleust. Das Ein- und Ausschleusen bzw. die Zu- und Abführung der Edukte und Karbonisierungsprodukte kann bei laufendem Betrieb des Karbonisierungsverfahrens portionsweise stattfinden, wobei der Karbonisierungsprozess nicht wesentlich gestört wird und keinesfalls unterbrochen wird und damit quasi-kontinuierlich ablaufen kann.

**[0015]** Der Reaktor 1 umfasst einen Aussenbehälter 10, welcher starr ausgebildet ist und als Druckbehälter dient. Der Aussenbehälter 10 ist auf einer Reaktorlagervorrichtung 2 um die Aussenbehälterlängsachse La rotierbar gelagert. Auf zwei Gestellen 20 sind Drehlager 21 angeordnet, sodass der Aussenbehälter 10 durch mindestens einen Rotationsantrieb 22 gesteuert rotierbar ist. Als Rotationsantrieb 22 dienen beispielsweise entsprechend dimensionierte Elektromotoren. Diese rotierbare Lagerung des Reaktors 1 dient der Unterstützung des Karbonisierungsprozesses, ist aber nicht zwingend notwendig.

**[0016]** In der hier dargestellten Ausgestaltung weist der Aussenbehälter 10 einen Aussenbehältermantel 100 mit einem zylindrischen Mittelstück 1003 auf, welches von einem ebenen Basisboden 1001 durch einen Basisflansch 1002 lösbar abschliessbar und flüssigkeitsdicht und druckdicht verschlossen ist. Von der Seite des Basisbodens 1001 wird das Prozessmedium zu- und abgeführt. Auf der dem Basisboden 1001 gegenüberliegenden Seite des Aussenbehältermantels 100 wird das zylindrische Mittelstück 1003 durch einen gewölbt ausgeführten Deckelboden 1005 mittels Deckelbodenflansch 1004 lösbar flüssigkeits- und druckdicht verschlossen. Der Aussenbehälter 10 wird liegend gelagert, wobei die Aussenbehälterlängsachse La etwa horizontal zur Ebene des Untergrunds am Aufstellungsort verläuft. Der Aussenbehälter 10 ist lösbar verschliessbar und damit der Prozess der hydrothermalen Karbonisierung durch den Aussenbehälter 10 im Reaktor 1 von der Umwelt abgeschlossen.

**[0017]** Der Aussenbehälter 10 ist aus Stabilitätsgründen starr und bevorzugt aus Stahl hergestellt, wobei die Wanddicken so gewählt sind, dass auch Fluiddrücke von mehreren bar gefahrlos innerhalb des Aussenbehälters 10 ausbildbar sind, welche der Aussenbehälter 10 aushalten kann. Je nach geplanter Anlagengrösse und Menge der umzusetzenden Edukte wird die Grösse des Aussenbehälterinnenraums 103 gewählt.

**[0018]** In dem Basisboden 1001 ist eine Einfülldurchführung 104 und eine Ausgabedurchführung 105 vollständig querend angeordnet, wodurch ein Zugang in den Aussenbehälter 10 von aussen bei ansonsten geschlossenem Aussenbehälter 10 ermöglicht ist. In Fig. 1b ist ein Rührwerkantriebsmittel 132 gezeigt, welches im Zusammenhang mit einer Rühr- und Fördereinrichtung noch erläutert wird.

**[0019]** Fig. 2 zeigt einen Reaktor 1 mit einer möglichen Ausführungsform einer angeschlossenen Zu- und Abführvorrichtung 4. Auf die Reaktorlagervorrichtung 2 ist in dieser perspektivischen Ansicht verzichtet worden. Hier dargestellt weist die Ausführungsform der Zu- und Abführvorrichtung 4 einen Zuführzylinder 40 und einen Entnahmezylinder 41 auf, welche jeweils mit der Einfülldurchführung 104 und der Ausgabedurchführung 105 lösbar wirkverbundbar sind.

**[0020]** Zu Wartungszwecken kann die Zu- und Abführvorrichtung 4 vollständig von dem Reaktor 1 getrennt werden und im Betriebszustand entsprechend flüssigkeits- und druckdicht mit dem Reaktor 1 verbunden sein. Die Zu- und Abführvorrichtung 4 ist lösbar durch Flanschverbindungen am Reaktor 1 befestigt. Ein Vorrichtungslager 42 ist derart ausgeführt, dass die Zu- und Abführvorrichtung 4 relativ zum Reaktor 1 ausgerichtet gelagert wird. Da der hier erläuterte Reaktor 1 bevorzugt bei ablaufendem Karbonisierungsprozess um die Aussenbehälterlängsachse La rotiert wird, ist das Vorrichtungslager 42 so ausgestaltet, dass die Zu- und Abführvorrichtung 4 bei Rotation des Reaktors 1 um die Aussenbehälterlängsachse La bei angeschlossener Zu- und Abführvorrichtung 4 mit rotierbar ist. Um eine Rotation zu erleichtern, ist das Vorrichtungslager 42 höhenverstellbar ausgestattet. Ein Kraftregler kann die Höhe des Vorrichtungslagers 42 optimal einstellen, damit eine Rotation erreichbar ist.

**[0021]** Damit das Prozessmedium in Form der Edukte zuführbar und in Form der Karbonisierungsprodukte ein- bzw. abführbar ist, sind Antriebsmittel 43 an der Zu- und Abführvorrichtung 4 vorgesehen. Das Prozessmedium kann dadurch mit einer nicht dargestellten Steuerung kontrolliert transferiert werden.

**[0022]** Wie in dem Horizontalschnitt durch den Reaktor 1 gemäss Fig. 4 gezeigt, ist innerhalb des Aussenbehälters 10 der erwähnte Karbonisierungsbehälter 11 vollständig eingelassen gelagert, wobei die Karbonisierungsbehälterlängsachse Lp mit der Aussenbehälterlängsachse La zusammen fällt. Dieser Karbonisierungsbehälter 11 ist mit dem Einfüllkanal 1141 und dem Ausgabekanal 1142 fest mit dem Basisboden 1001 des Aussenbehälters 10 verbunden und damit in den Aussenbehältermantel 100 hineinragend relativ zum Aussenbehälter 10 unbewegbar gelagert.

**[0023]** Der Karbonisierungsbehälter 11 weist einen Karbonisierungsbehältermantel 111 auf, welcher im Betriebszustand von einem Fluid 3 vollständig umgeben bzw. umspült wird. Im Innenraum des Karbonisierungsbehälters 11 befindet sich im Betriebszustand das Prozessmedium 5 in den unterschiedlichen Zuständen. Der Karbonisierungsbehälter 11 umfasst einen zentralen Mantelabschnitt, welcher zwischen einem Deckelteil 1101 und einem Bodenteil 1105 angeordnet ist. Der zentrale Mantelabschnitt ist zylindrisch geformt ausgestaltet und der Deckelteil 1101 mittels Deckelflansch 1102 und der Bodenteil 1105 mittels Bodenflansch 1106 am zentralen Mantelabschnitt lösbar befestigt. Der gesamte Karbonisierungs-

behälter 11 wird im Betriebszustand mit dem Prozessmedium 5 unter Druck beaufschlagt und ist entsprechend flüssigkeits- und druckdicht ausgeführt.

**[0024]** An den Bodenteil 1105 anschliessend ist ein Ausgabekanal 1142 angeschlossen, welcher aus dem Innenraum des Karbonisierungsbehälters 11 herausführt. Nach Einbau des Karbonisierungsbehälters 11 in den Aussenbehälter 10 ist der Ausgabekanal 1142 so angeordnet, dass er durch die Ausgabedurchführung 105 des Basisbodens 1001 geführt ist.

**[0025]** Wie in Fig. 5a gezeigt ist ein Einfüllkanal 1141 an den Bodenteil 1105 angeschlossen, der entsprechend durch die Einfülldurchführung 104 im Basisboden 1001 des Aussenbehälters 10 durchführbar ist. Der Ausgabekanal 1142 und der Einfüllkanal 1141 sind durch den Basisboden 1001 hindurchragend unlösbar durch eine stoffschlüssige Schweissverbindung oder lösbar durch Flanschverbindungen am Basisboden 1001 befestigbar. Durch an den Einfüllkanal 1141 und den Ausgabekanal 1142 angeformte Befestigungsflansche 115 können die Kanäle 1141, 1142 mit der Zu- und Abfuhrvorrichtung 4 verbunden werden, welche in den Fig. 5a und 5b der besseren Übersichtlichkeit halber weggelassen wurde.

**[0026]** Im Betriebszustand wird das Prozessmedium 5 durch den Einfüllkanal 1141 in den Innenraum des Karbonisierungsbehälters 11 eingefüllt und nach einer Verweil- bzw. Reaktionszeit durch den Ausgabekanal 1142 aus dem Karbonisierungsbehälter 11 ausgeschleust. Entsprechend sind Einfüll- und Ausgabekanal 1141, 1142 während des Betriebes nur zeitweise kontrolliert geöffnet, um die exotherme Reaktion der hydrothermalen Karbonisierung nur kurzzeitig zu beeinflussen. Damit wird der Innendruck und die Temperatur im Karbonisierungsbehälter 10 nur kurzzeitig gestört.

**[0027]** Während im Karbonisierungsbehälter 11 die hydrothermale Karbonisierung unter erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck abläuft, umgibt das Fluid 3, welches insbesondere ein Thermoöl ist, den Karbonisierungsbehälter 11 innerhalb des geschlossenen Aussenbehältermantels 100.

**[0028]** Das Thermoöl 3 dient bei der hydrothermalen Karbonisierung hier unter anderem als Wärmeübertragungsfluid. Ein am Aussenbehälter 10 angeordneter Beaufschlagungsstutzen 106 dient zur Befüllung und zur Beaufschlagung des Aussenbehälterinnenraums 103 mit dem Fluid 3. Am Beaufschlagungsstutzen 106 sind im Aussenbehälterinnenraum 103 spinnenartig verlegte Rohre 109 zur Strömungsführung des Thermoöl 3 vorgesehen. Mittels Entlüftungsstutzen 108 kann die Luft aus dem Aussenbehälterinnenraum 103 während der Befüllung abgelassen werden. Damit kann extern aufgeheiztes Thermoöl 3 aus einem Thermoöltank zugeführt werden, womit der Karbonisierungsbehälter 11 auf eine zur Karbonisierung notwendige Temperatur gebracht werden kann. Durch die Temperaturerhöhung des Thermoöls 3 wird die exotherme Reaktion gestartet und aufrechterhalten, da diese erst ab einer Mindesttemperatur stattfindet. Durch eine Messung der Temperatur und der Möglichkeit des Austausches des Fluids 3 kann die Temperatur im Karbonisierungsbehälter 11 gesteuert werden.

**[0029]** Das Thermoöl im Aussenbehälter 10 und der Karbonisierungsbehälter 11 bilden einen Wärmeübertrager. Die hochviskosen feststoffbeladenen Edukte 5 und Produkte 5 im Innenraum des Karbonisierungsbehälters 11 geben ihre Wärme teilweise durch den Karbonisierungsbehältermantel 110 während der hydrothermalen Karbonisierung an das umgebende Thermoöl 3 ab. Das Thermoöl 3 umströmt den Karbonisierungsbehälter 11 und kann Wärme aufnehmen und abgeben. Sollte der Karbonisierungsbehälter 11 abgekühlt werden, kann entsprechend überschüssige Wärmeenergie mittels Thermoöl 3 extern genutzt werden.

**[0030]** Um den Durchgang des Prozessmediums 5 durch den Innenraum des Karbonisierungsbehälters 11 zu gewährleisten ist eine Rühr- und Fördereinrichtung umfassend ein Rührwerk 13 den Innenraum mindestens teilweise querend angeordnet. Im Betrieb kann mittels Rührwerk 13 eine ständige Durchmischung des Prozessemediums 5, der Edukte und Karbonisierungsprodukte von aussen gesteuert stattfinden. Das Rührwerk 13 dient auch als Fördereinrichtung des Prozessmediums 5. Das Rührwerk 13 kann auf unterschiedliche Arten ausgeführt sein. Rührwerkantreibsmittel 132 sind vorgesehen, um das Rührwerk 13 von aussen gesteuert in Betrieb zu nehmen. Durch eine Antriebsdurchführung 107 im Aussenbehälter 10 und eine querende Antriebsvorrichtung 119 welche bis zum Rührwerk 13 im Karbonisierungsbehälter 11 führt, wird das Rührwerk 13 gesteuert angetrieben. Da der Karbonisierungsbehälter 11 mehrteilig ausgebildet ist kann das Rührwerk 13 einfach in den Karbonisierungsbehälter 11 eingebracht, dort drehbar mittels Rührwerkklager 133 gelagert befestigt und von ausserhalb des Reaktors 1 gesteuert betätigt werden. Das Rührwerk 13 ist hier mit einem Reibradantrieb ausgestattet, was in Fig. 5b eingekreist dargestellt ist. Am Rührwerk 13 sind Blätter als Stromstörer und/oder zur Unterstützung der axialen Förderung angeordnet.

**[0031]** Der Karbonisierungsbehälter 11 und das darin befindliche Rührwerk 13 sind so ausgebildet, dass das Prozessmedium 5, welches Biomasse in Form von Klärschlamm und Grüngutabfall umfasst, während des Karbonisierungsprozesses förderbar ist. Die Biomasse wird vor der Zuführung in den Reaktor extern zerkleinert, es verbleiben aber weiterhin Feststoffe mit einer maximalen Stückgrösse von 2,5 cm x 2,5 cm x 2,5 cm als Teil des Prozessmediums 5 vorhanden. Durch diese Feststoffbeladung werden an den Karbonisierungsbehälter 11 und das Rührwerk 13 spezielle Anforderungen gestellt.

**[0032]** Dadurch, dass der Aussenbehälter 10 und der Karbonisierungsbehälter 11 jeweils mehrteilig ausgebildet sind, ist ein einfacher Zusammenbau des Reaktors 1 und damit der gesamten Anlage am Aufstellungsort möglich. Vor allem sind auch Wartungsarbeiten ohne grössere Mühen durchführbar, da kein Mannloch vorgesehen sein muss, um Zugang zu den Behältern 10, 11 zu haben.

**[0033]** Alle Wände und Bauteile, die mit dem Prozessmedium 5 direkt in Kontakt kommen, sind aus säurebeständigem Material hergestellt. Hier sind diese Teile in Edelstahl ausgeführt.

**[0034]** Der Karbonisierungsbehälter 11 ist derart gestaltet, dass das Karbonisierungsbehälterhohlraumvolumen oder das Fassungsvermögen des Karbonisierungsbehälters veränderbar ausgestaltet ist.

**[0035]** Der Karbonisierungsbehältermantel 110 ist dazu mindestens teilweise definiert bewegbar ausgestaltet, wobei die Ausdehnung des Behälterinnenraums geändert wird. Damit eine solche Variation des Karbonisierungsbehälterhohlraumvolumens oder des Fassungsvermögens des Karbonisierungsbehälters 11 möglich ist, muss der Karbonisierungsbehältermantel 110 mindestens zweiteilig ausgestaltet sein. Beispielfhaft ist ein derartiger Karbonisierungsbehälter 11 in Fig. 6 gezeigt, wobei der zentrale zylindrische Mantelabschnitt in einen ersten Mantelteil 1103 und einen zweiten Mantelteil 1104 geteilt ausgeführt ist. Der erste und zweite Mantelteil 1103, 1104 sind voneinander trennbar und gegeneinander verschiebbar gestaltet. Hier ist das durch eine lineare Verschiebbarkeit der beiden Mantelteile 1103, 1104 gegeneinander in Richtung der Karbonisierungsbehälterlängsachse  $L_p$  gelöst. In anderen Ausführungsformen wäre auch eine Verschiebbarkeit der Mantelteile relativ zueinander in einer Richtung senkrecht zur Karbonisierungsbehälterlängsachse  $L_p$  möglich.

**[0036]** Der Karbonisierungsbehälter 11 ist mittels Karbonisierungsbehälterlagern 120 auf der Innenseite des Aussenbehälters 10 gelagert. Da der Bodenteil 1105 fest mit dem Basisboden 1001 verbunden ist, ist der zweite Mantelteil 1004 auf einem statischen Karbonisierungsbehälterlager 120 im Bereich des Bodenflansches 1106 gelagert. Da der erste Mantelteil 1003 relativ zum zweiten Mantelteil 1004 bewegbar gestaltet ist, ist der erste Mantelteil 1003 im Bereich des Deckelflansches teilweise längsbewegbar gelagert.

**[0037]** Damit das Prozessmedium 5 nicht ungewünscht aus dem Karbonisierungsbehälter 11 entweichen kann, muss der Dichtspalt bzw. müssen die Dichtflächen zwischen den Mantelteilen 1103, 1104 entsprechend flüssigkeitsdicht und druckdicht abgedichtet sein.

**[0038]** Um eine reproduzierbare Variation des Fassungsvermögens zu erreichen sind mechanische Druckbeaufschlagungsmittel 118, beispielsweise in Form von Federn 118 zwischen den bewegbaren Mantelteilen angeordnet. Versuche haben gezeigt, dass eine Mehrzahl von Zugfedern 118 verwendet werden muss, um den gewünschten Effekt zu erhalten. Da die Mantelteile beispielsweise aus Edelstahl gefertigt sind, wird üblicherweise eine Mehrzahl von Federn 118 entlang des Umfanges des Karbonisierungsbehälters 11 verteilt angeordnet. Versuche mit 64 Federn 118, gleichmässig entlang des Umfanges verteilt, haben gute Ergebnisse geliefert.

**[0039]** Durch das mechanische Druckbeaufschlagungsmittel 118 wird der erste Mantelteil 1103 samt daran befestigtem Deckelteil 1101 gegen den zweiten Mantelteil 1104 bzw. den daran befestigten Bodenteil 1105 gezwungen. Da der Bodenteil 1105 fest mit dem Basisboden 1001 des Aussenbehälters 10 verbunden ist, wird der Deckelteil 1101 derart in Richtung des Basisbodens 1001 gezogen, dass sich ein minimales Karbonisierungsbehälterhohlraumvolumen aufgrund der wirkenden Federkraft einstellt.

**[0040]** Eine solche Ausgestaltung erlaubt es, dass das Prozessmedium 5 im Innenraum während des Karbonisierungsprozesses auf Temperaturen grösser als  $150^\circ\text{C}$  aufheizbar ist. Das Fest-Flüssig-Gemisch im geschlossenen Karbonisierungsbehälter 11 expandiert durch die Ausdehnung von Prozesswasser und Biomasse. Versuche haben gezeigt, dass die Federn einen Innendruck bis zu 9 bar vom bewegbar gestalteten Karbonisierungsbehälter 11 aufnehmen können. Damit kein Verdampfen des Wassers erfolgt, erfolgt über das Thermoöl eine Druckbeaufschlagung. Die Druckbeaufschlagung und der durch die Federn erzeugte Druck erzeugen aufsummiert den Druck im Karbonisierungsbehälter 11.

**[0041]** Bei der hydrothermalen Karbonisierung ist es das Ziel eine ideale Temperatur und einen idealen Druck im Karbonisierungsbehälter 11 zu erreichen, wodurch die Verkohlung in kürzester Zeit abläuft. Wird nun das Prozessmedium 5 im Innenraum des Karbonisierungsbehälters 11 weiter mittels Wärmetausch durch das Thermoöl 3 und die exotherme Reaktion bei der Verkohlung selbst weiter erhitzt, können Temperaturen von  $200^\circ\text{C}$  und mehr erreicht werden. Der Karbonisierungsbehälter 11 ist im Aussenbehälter 10 vollständig von Thermoöl 3 umspült gelagert.

**[0042]** Um den Innendruck im Karbonisierungsbehälterhohlraum reproduzierbar und von aussen regeln und erhöhen zu können, ist als weiteres Druckbeaufschlagungsmittel 118 eine Druckbeaufschlagung des Fluids 3, welches sich bereits aus Wärmeübertragungsgründen innerhalb des Aussenbehälters 10 befindet und dort zirkuliert, vorgesehen. Neben den mechanischen Druckbeaufschlagungsmitteln 118 ist damit ein zusätzliches hydraulisches Druckbeaufschlagungsmittel 118 vorgesehen.

**[0043]** Durch den Beaufschlagungsstutzen 106 und die Rohre 109 kann das Fluid 3 mit einem Druck beaufschlagt in den Aussenbehälterinnenraum 103 eingebracht werden. Die Rohre 109 sind im Aussenbehälterinnenraum 103 wie in Fig. 5a erkennbar derart verlegt, dass das Thermoöl durch die Rohre 109 im Aussenbehälterinnenraum 103 den Karbonisierungsbehälter 11 umspülend verteilt werden kann. Da auch die Entnahme des Thermoöls durch die Rohre 109 erfolgt, ist darauf zu achten, dass thermische Kurzschlüsse ausgeschlossen sind und gerade eingefülltes Thermoöl nicht direkt wieder abgepumpt wird. Die Druckbeaufschlagung des Thermoöls erfolgt hier mittels einer Stickstoffbeaufschlagung, kann aber auch anders gelöst sein.

**[0044]** Wird das Fluid 3 unter Drücken von einigen bar in den Aussenbehälter 10 gepresst, wirkt sich dieser Druck auf das Karbonisierungsbehälterhohlraumvolumen aus und summiert sich mit dem Druck der mechanischen Druckbeaufschlagungsmittel 118. Der bewegbare Karbonisierungsbehältermantel 110 wird gestaucht und die bewegbaren Mantelteile hydraulisch weiter gegeneinander verschoben. Das Fluid 3 hat damit neben einer Wärmeübertragungsfunktion die Funktion eines hydraulischen Druckbeaufschlagungsmittels 118.

**[0045]** Durch die Einstellung der Druckbeaufschlagung auf das Thermoöl kann der im Karbonisierungsbehälterinnenraum herrschende Druck von ausserhalb des Reaktors 1 stark erhöht und bequem eingestellt werden. Es ist eine einfache Erzeugung grosser Kräfte erreichbar, wobei die angreifenden Kräfte durch einfache Drucksteuerung einstellbar sind und aufgrund der hydraulischen Verwendung nur ein geringer Energieeintrag notwendig ist.

**[0046]** Wird das Prozessmedium 5 im Innenraum des Karbonisierungsbehälters 11 auf etwa 200° C erhitzt, bildet sich ein temperaturabhängiger Innendruck in einem flüssigkeits- und druckdichten Karbonisierungsbehälter gemäss Dampfdruckkurve von Wasser von etwa 15.5 bar aus.

**[0047]** Versuche haben gezeigt, dass bei geeigneter Ausgestaltung des Karbonisierungsbehältermantels 110 und der Federkräfte der mechanischen Druckbeaufschlagungsmittel 118 ein Innendruck im Behälterinnenraum temperaturunabhängig von bis zu 9 bar mechanisch erreichbar ist. Wenn zusätzliche von aussen das Fluid 3 mit einem Druck von 16 bar beaufschlagt wird, ist während des Karbonisierungsprozesses damit ein Innendruck von etwa 25 bar erreichbar und kann während des gesamten Prozesses gehalten werden, wobei das Prozessmedium 5 bzw. das Prozesswasser nicht verdampft werden muss. Es ist dazu nur ein geringer Energieeintrag notwendig um die Druckbeaufschlagung zu erreichen. Bei handelsüblichen druckdichten Behältern sind derartige Innendrucke nur mit einer Temperaturerhöhung auf 220°C und mehr erreichbar, was einen enormen zusätzlichen Energieeintrag notwendig macht.

**[0048]** In Fig. 7a ist der Karbonisierungsbehälter 11 in einem zusammengezogenen Zustand gezeigt, wobei die Mehrzahl von Federn 118 hier weggelassen wurden. Im Vergleich dazu zeigt Fig. 7b den Karbonisierungsbehälter 11 in maximal ausgezogenem Zustand, welcher um eine Länge  $\Delta l$  ausgezogen und damit verlängert ist. Damit kann das Karbonisierungsbehälterhohlraumvolumen an unterschiedliche Mengen Prozessmedium 5 und resultierende Wärmeausdehnung des Mediums angepasst werden.

**[0049]** Wie beschrieben ist ein kompakter und im Labormassstab ausgeführter flüssigkeits- und druckdichter Karbonisierungsbehälter 11 als Teil eines Reaktors 1 für eine kompakte Anlage zur hydrothermalen Karbonisierung in einem quasikontinuierlichen Prozess geschaffen, welcher den Karbonisierungsdruck und die Karbonisierungstemperatur des Prozessmediums 5 im Karbonisierungsbehälter 11 voneinander entkoppelt.

**[0050]** Da der Karbonisierungsbehälter 11 hier längenvariabel ausgestaltet ist, muss ein wirkverbundenes Rührwerk 13 entsprechend auch längenvariabel ausgestaltet sein, um in den verschiedenen Längenzustände des Karbonisierungsbehälters 11 im gesamten Karbonisierungsbehälter wirksam zu sein.

**[0051]** Die hier gezeigte Ausführungsform des Karbonisierungsbehälters 11 umfasst mechanische und hydraulische Druckbeaufschlagungsmittel 118. Es ist aber auch möglich, den Karbonisierungsbehälter 11 wie beschrieben mehrteilig auszugestalten und nur mechanische oder nur hydraulische Druckbeaufschlagungsmittel 118 vorzusehen.

**[0052]** Um den Wärmetausch zwischen dem Fluid 3 und dem Karbonisierungsbehältermantel 110 bzw. dem aufgeheizten Prozessmedium 5 zu optimieren ist der hier dargestellte Karbonisierungsbehälter 11 mit einem zentrisch parallel zur Karbonisierungsbehälterlängsachse  $L_p$  verlaufenden Längskanal 116 ausgestaltet. Dadurch wird die wärmetauschende Oberfläche des Karbonisierungsbehälters 11 erhöht. Im Innenraum berührt das Prozessmedium 5 den Karbonisierungsbehältermantel 110 auf der dem Aussenbehälter 10 zugewandten Seite und auf der dem Längskanal 116 zugewandten Seite. Da das Prozessmedium 5 und damit der Karbonisierungsbehälter 11 vor allem im Abschnitt an der dem Beaufschlagungsstutzen 106 zugewandten Seite des Karbonisierungsbehälters 11 stark erhitzt wird, kann die Wärme verbessert durch den Längskanal 116 auf das Fluid 3 übertragen werden und genutzt werden.

### Bezugszeichenliste

**[0053]**

1	Reaktor
10	Aussenbehälter
100	Aussenbehältermantel
1001	Basisboden
1002	Basisflansch
1003	zylindrisches Mittelstück
1004	Deckelbodenflansch
1005	Deckelboden (gewölbt, z.B. torisphärisch)
103	Aussenbehälterinnenraum
104	Einfülldurchführung

## CH 706 172 A2

- 105 Ausgabedurchführung
- 106 Beaufschlagungsstutzen
- 107 Antriebsdurchführung
- 108 Entlüftungsstutzen
- 109 Rohre
- La Aussenbehälterlängsachse
- 11 Karbonisierungsbehälter
  - 110 Karbonisierungsbehältermantel
    - 1101 Deckelteil (gewölbt)
    - 1102 Deckelflansch
    - 1103 erster Mantelteil
    - 1104 zweiter Mantelteil
    - 1105 Bodenteil
    - 1106 Bodenflansch
    - 1141 Einfüllkanal
    - 1142 Ausgabekanal
  - 115 Befestigungsflansche (Karbonisierungsbehälter an Basisboden)
  - 116 Längskanal (längenvariabel, vollständig querend)
  - 117 Umlenkvorrichtung (geneigte Bodenplatte am Deckelteil)
  - 118 Druckbeaufschlagungsmittel (Feder oder Thermoöl)
  - 119 Antriebsvorrichtung
  - 120 Karbonisierungsbehälterlager
  - Lp Karbonisierungsbehälterlängsachse
- 13 Rührwerk
  - 132 Rührwerkantreibsmittel
- 2 Reaktorlagervorrichtung
  - 20 Gestell
  - 21 Drehlager
  - 22 Rotationsantrieb
- 3 Fluid (Thermoöl)
- 4 Zu- und Abfuhrvorrichtung
  - 40 Zuführzylinder
  - 41 Entnahmezylinder
  - 42 Vorrichtungslager (rotierbar)
  - 43 Antriebsmittel
- 5 Prozessmedium (hochviskos und feststoffbeladen)

## Patentansprüche

1. Druckdichter Karbonisierungsbehälter (11) in welchem die hydrothermale Karbonisierung, ein Verrühren und ein Durchleiten eines hochviskosen und/oder feststoffbeladenen Prozessmediums (5) stattfinden kann, umfassend einen Karbonisierungsbehältermantel (110), welcher ein Karbonisierungsbehälterhohlraum einschliesst, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Teil des Karbonisierungsbehältermantels (110) mehrteilig ausgestaltet ist, wobei die Teile druck- und flüssigkeitsdicht voneinander getrennt angeordnet sind und definiert reproduzierbar relativ zueinander bewegbar gelagert sind, sodass das Karbonisierungsbehälterhohlraum gezielt veränderbar ist und der Innendruck auf das Prozessmedium (5) im Karbonisierungsbehälter (11) unabhängig von der Prozessstemperatur einstellbar ist.
2. Karbonisierungsbehälter (11) nach Anspruch 1, wobei die Einstellung des Innendruckes teilweise durch mechanische Druckbeaufschlagungsmittel (118) erreicht wird.
3. Karbonisierungsbehälter (11) nach Anspruch 1, wobei die Einstellung des Innendruckes durch ein hydraulisches Druckbeaufschlagungsmittel (118) erreicht wird.
4. Karbonisierungsbehälter (11) nach Anspruch 2, wobei der Karbonisierungsbehältermantel (110) einen ersten Mantelteil (1103) und einen zweiten Mantelteil (1104) aufweist, welche mit den mechanischen Druckbeaufschlagungsmitteln (118) wirkverbunden gegeneinander bewegbar gelagert sind.
5. Karbonisierungsbehälter (11) nach Anspruch 4, wobei der erste Mantelteil (1103) gegen den zweiten Mantelteil (1104) durch die mechanischen Druckbeaufschlagungsmittel (118) längsbewegbar zentrisch parallel zur Karbonisierungsbehälterlängsachse (Lp) gelagert ist.
6. Karbonisierungsbehälter (11) nach Anspruch 4, wobei die mechanischen Druckbeaufschlagungsmittel (118) eine Mehrzahl von Zugfedern (118) sind, welche aufgrund der Federkräfte die Mantelteile (1103, 1104) mechanisch gegeneinander zwingen.
7. Karbonisierungsbehälter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Dichtspalt bzw. Dichtflächen zwischen den Teilen des Karbonisierungsbehältermantels (110) flüssigkeitsdicht und druckdicht abgedichtet sind.
8. Reaktor (1), umfassend einen Karbonisierungsbehälter (11) gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche und einen Aussenbehälter (10), wobei der Karbonisierungsbehälter (11) innerhalb eines Aussenbehälters (10) von einem Fluid (3) umschlossen anordbar ist und das Druckbeaufschlagungsmittel (118) durch eine hydraulische Druckbeaufschlagung des Fluids (3) gebildet ist, wodurch die Variation des Karbonisierungsbehälterhohlraums von ausserhalb des Karbonisierungsbehälters (11) bei laufendem Karbonisierungsprozess gezielt einstellbar ist.
9. Reaktor (1) nach Anspruch 8, wobei die hydraulische Druckbeaufschlagung auf den mehrteiligen Karbonisierungsbehältermantel (110) durch ressourcenschonende Druckbeaufschlagung des Fluids (3) durch einen Beaufschlagungsstutzen (106) am Aussenbehälter (10) und im Aussenbehälter (10) verlaufende Rohre (109) reproduzierbar erfolgt.
10. Verwendung eines druckdichten Karbonisierungsbehälters (11) zur hydrothermalen Karbonisierung eines eingefüllten Prozessmediums (5), wobei das Fassungsvermögen des Karbonisierungsbehälters (11) auf die Menge des eingefüllten Prozessmediums (5) anpassbar ist und der Innendruck im Karbonisierungsbehälter (11) unabhängig von der Temperatur des Prozessmediums (5) und der Wasserdampfättigungskurve von ausserhalb des Karbonisierungsbehälters (11) einstellbar ist.
11. Verwendung eines druckdichten Karbonisierungsbehälters (11) gemäss Anspruch 10, wobei der Innendruck im Karbonisierungsbehälter (11) durch mechanische und/oder hydraulische Druckbeaufschlagungsmittel (118) erfolgt.
12. Hydrothermale Karbonisierungsanlage, umfassend einen mehrteiligen Reaktor (1), umfassend einen Karbonisierungsbehälter (11) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 7 der in einem Aussenbehälter (10) gelagert ist, wobei das Karbonisierungsbehälterhohlraum des Karbonisierungsbehälters (11) gezielt veränderbar ist und ein von der Prozessstemperatur unabhängiger Innendruck auf ein Prozessmedium (5) im Karbonisierungsbehälter (11) erreichbar ist.

FIG. 1a

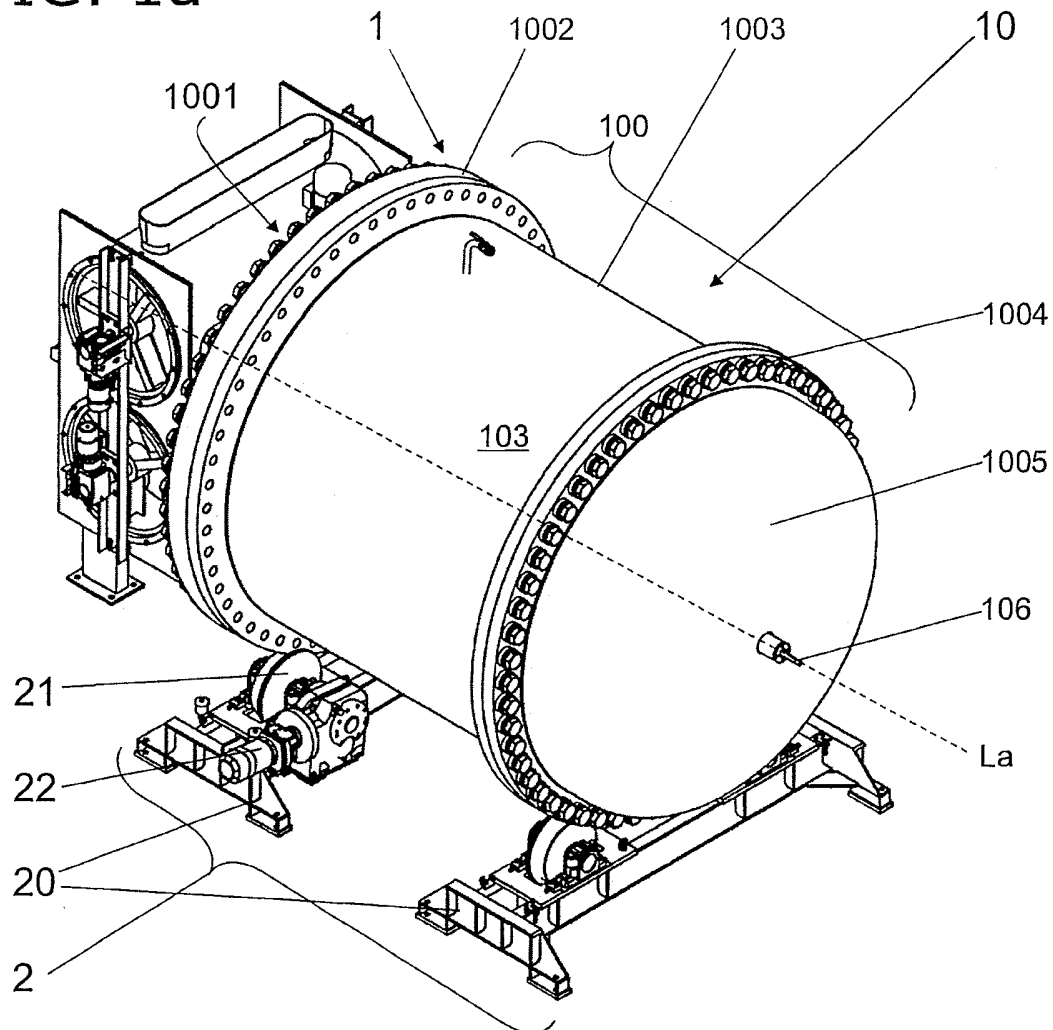


FIG. 1b

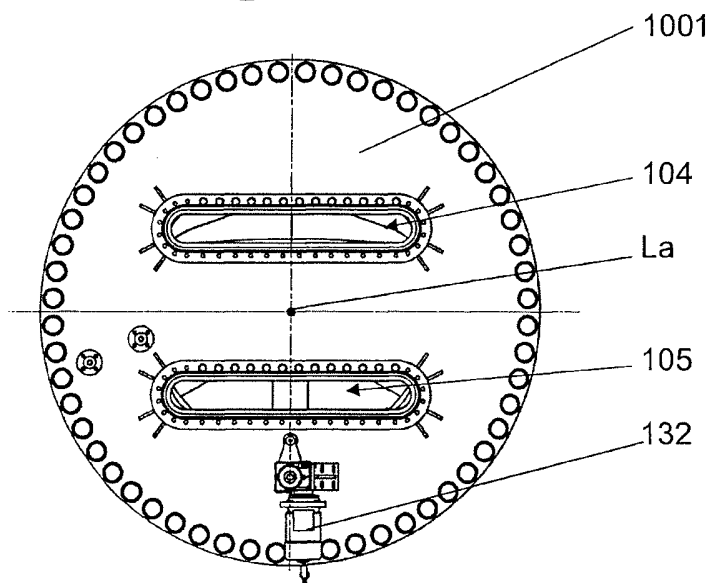


FIG. 2

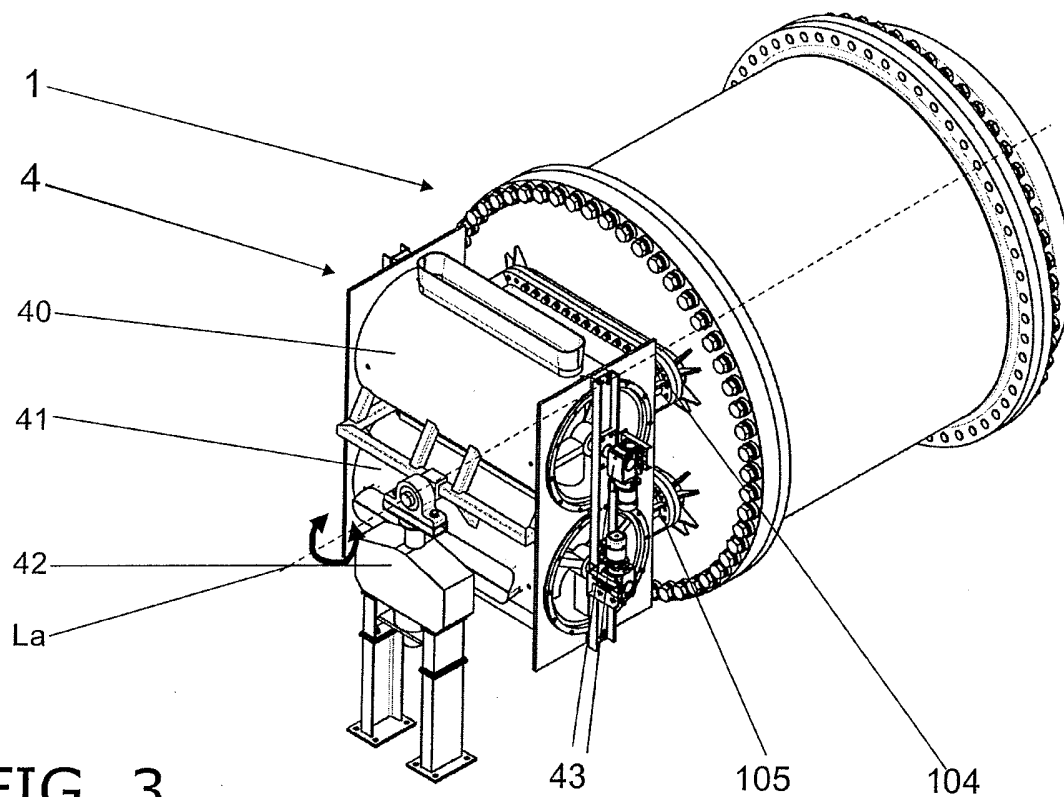


FIG. 3

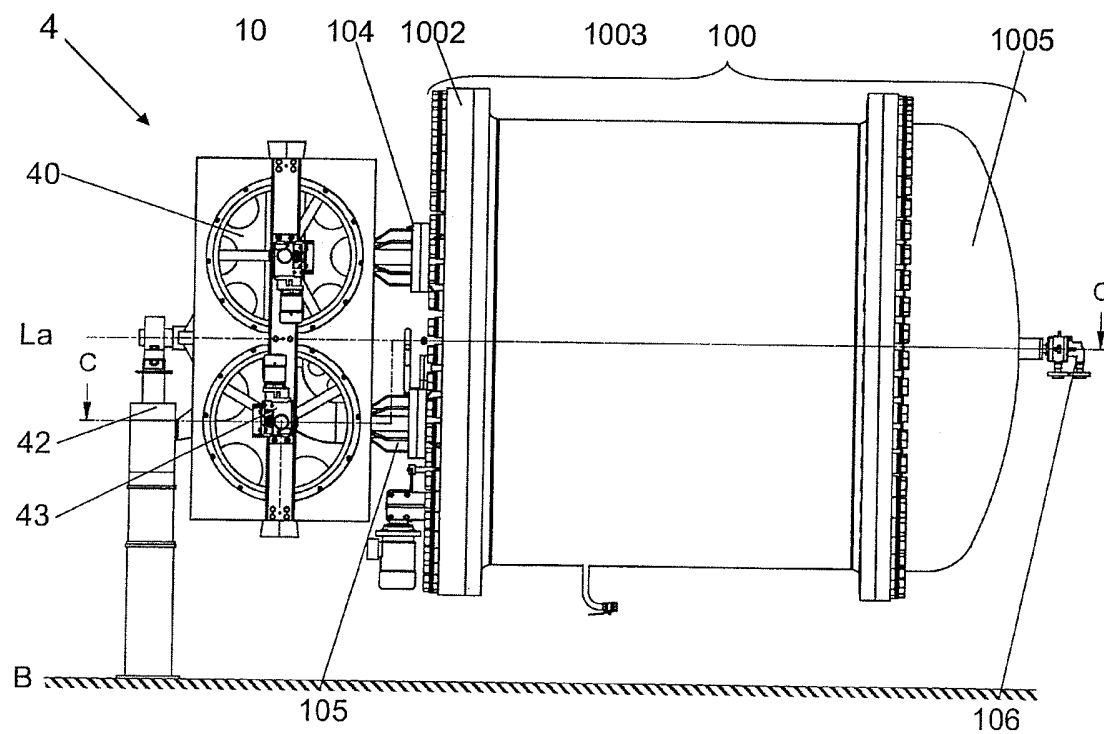


FIG. 4

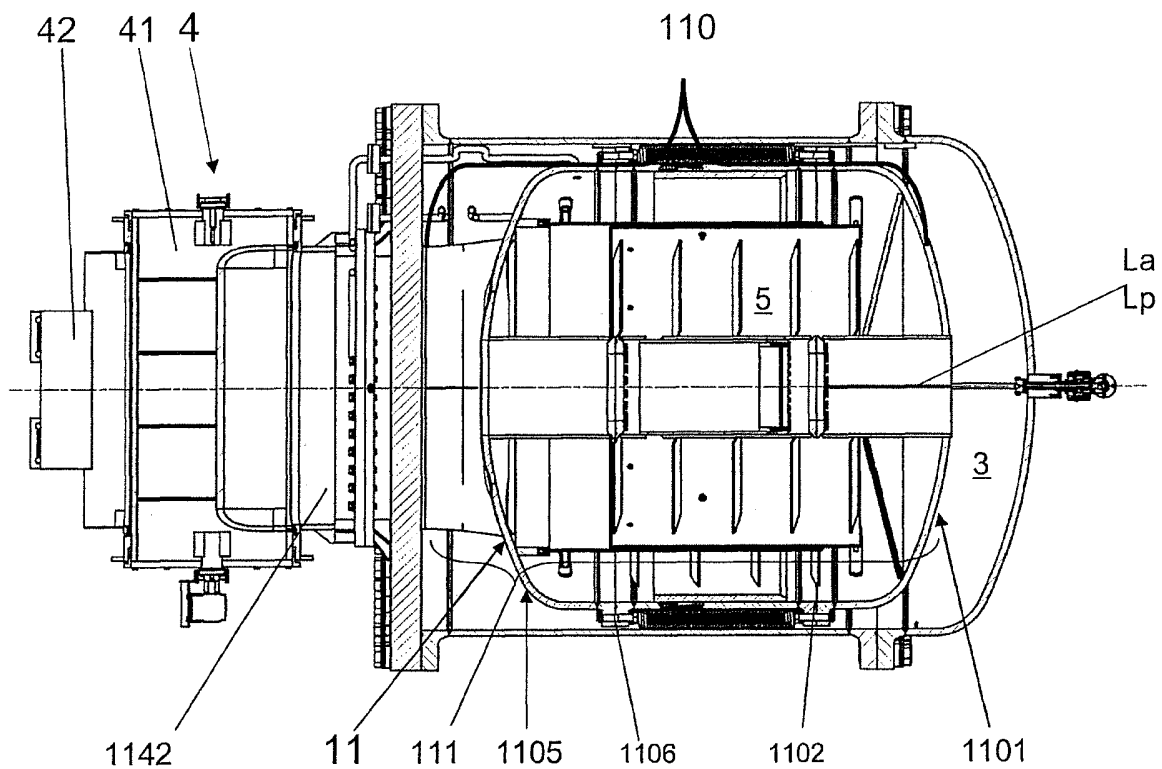


FIG. 5a

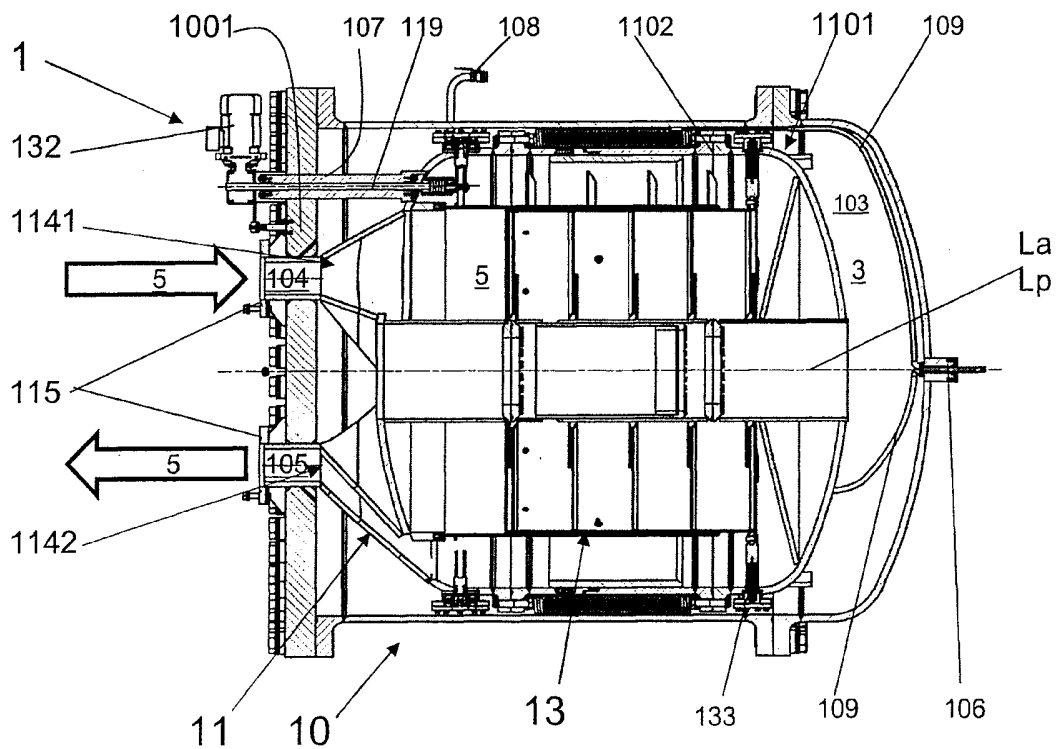


FIG. 5b

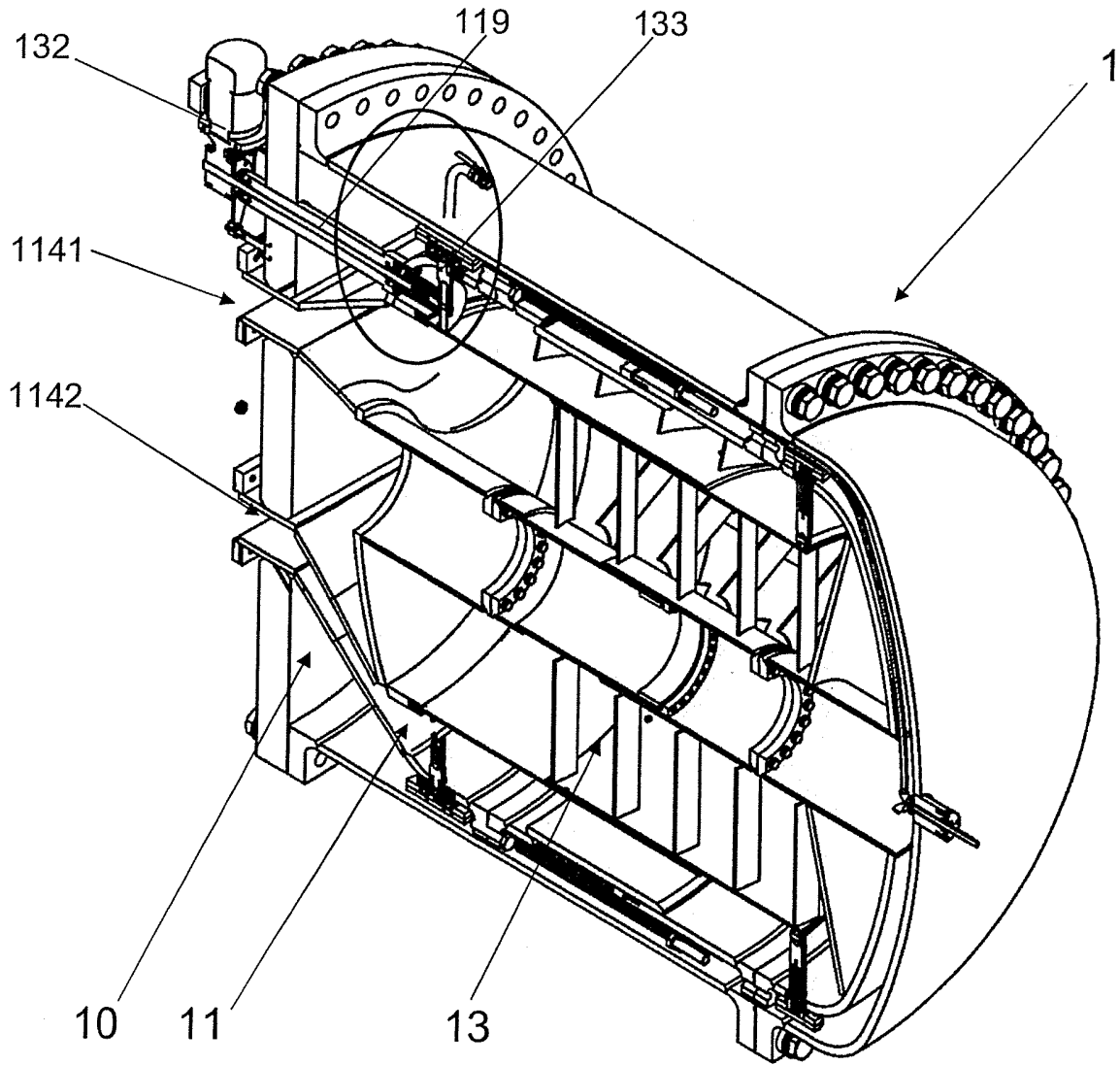


FIG. 6

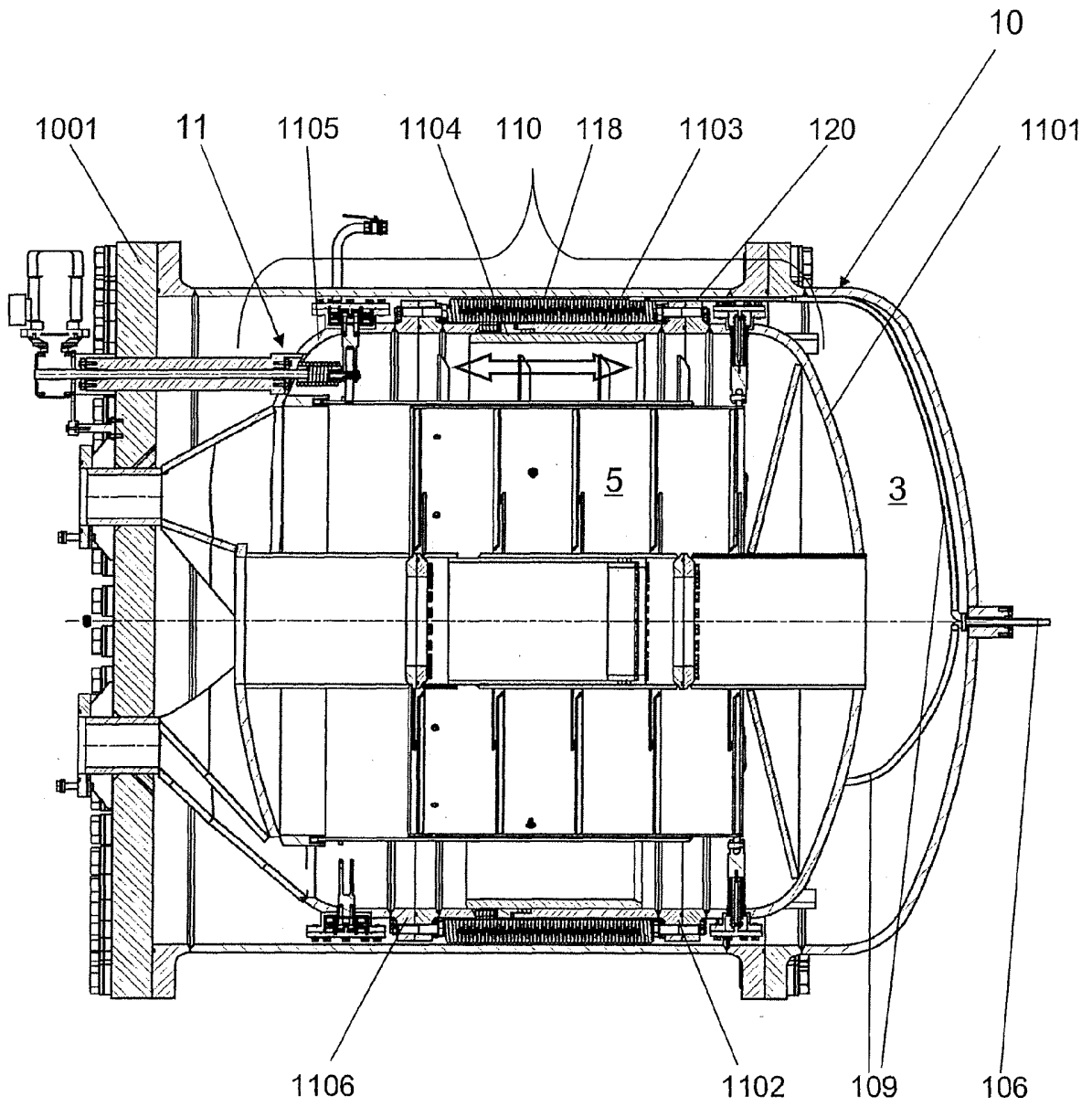


FIG. 7a

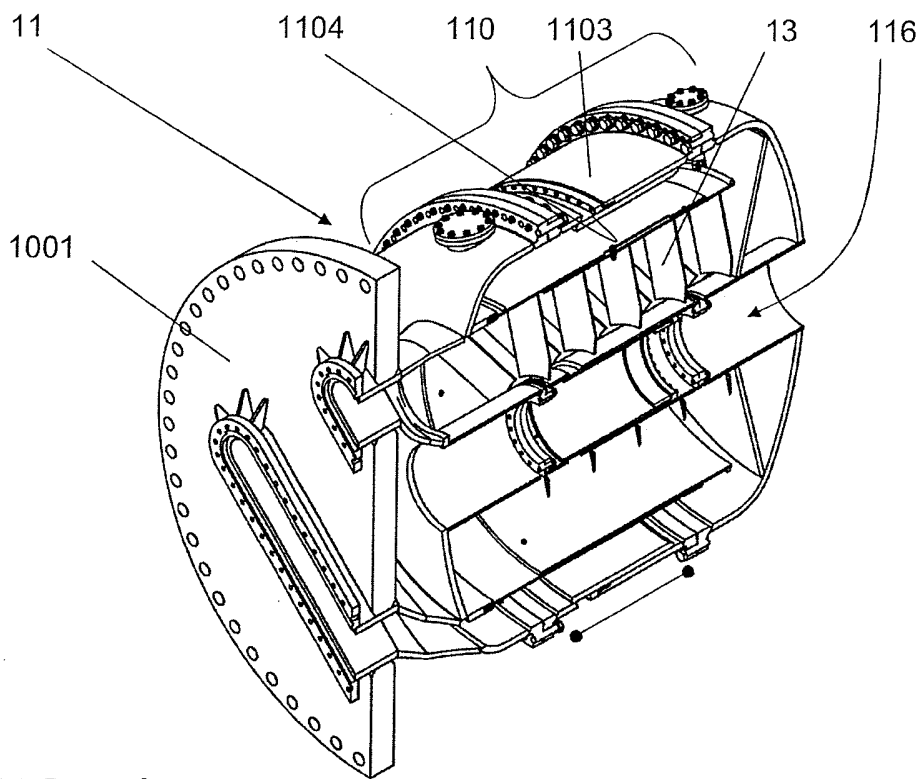


FIG. 7b

