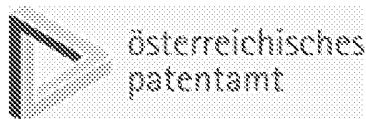


(19)



(10)

AT 510228 B1 2016-09-15

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1238/2010
 (22) Anmeldetag: 23.07.2010
 (45) Veröffentlicht am: 15.09.2016

(51) Int. Cl.: **C10J 3/56** (2006.01)
C10J 3/48 (2006.01)
B01J 8/18 (2006.01)
B01J 8/26 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 WO 201006353 A2
 AT 505526 A1

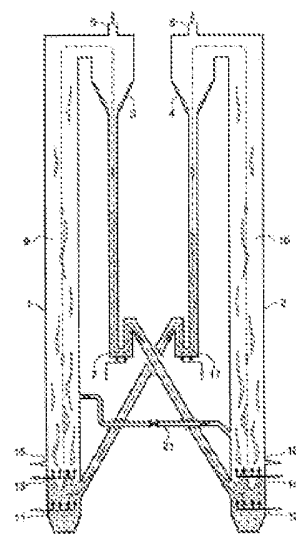
(73) Patentinhaber:
 Technische Universität Wien
 1040 Wien (AT)

(72) Erfinder:
 PRÖLL TOBIAS DIPL.ING. DR.
 WIEN (AT)
 SCHMID JOHANNES DIPL.ING. (FH)
 WIEN (AT)
 PFEIFER CHRISTOPH DIPL.ING. DR.
 WIEN (AT)
 KITZLER HANNES DIPL.ING.
 WIEN (AT)
 HOFBAUER HERMANN DIPL.ING. DR.
 WIEN (AT)

(74) Vertreter:
 HÄUPL & ELLMEYER KG,
 PATENTANWALTSKANZLEI
 WIEN

(54) WIRBELSCHICHTREAKTORSYSTEM

(57) Die Erfindung betrifft ein Wirbelschichtreaktorsystem aus zumindest zwei Wirbelschichtreaktoren, umfassend einen ersten und einen zweiten Reaktor (1, 2), die jeweils als zirkulierende Wirbelschicht ausgeführt sind und getrennte Gasräume zur Durchführung chemischer Reaktionen darstellen, eine Partikelleitung (7) zum Transport von Wirbelschichtpartikeln vom ersten in den zweiten Reaktor, eine Partikelleitung (17) zum Rücktransport von Wirbelschichtpartikeln in den ersten Reaktor (1), sowie gegebenenfalls einen dritten Reaktor (20), der, in Richtung des zirkulierenden Partikelstroms gesehen, zwischen dem zweiten und dem ersten Reaktor angeordnet und als stationäre Wirbelschicht ausgeführt ist, mit dem Kennzeichen, dass zumindest eine im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung (21) zum Überleiten eines definierten Gas-Teilstroms aus dem zweiten Reaktor (2) und/ oder dem dritten Reaktor (20) in den ersten Reaktor (1) vorgesehen ist.



Figur 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Wirbelschichtreaktorsystem aus zumindest zwei als zirkulierende Wirbelschichten ausgeführten Wirbelschichtreaktoren zur Durchführung chemischer Reaktionen, insbesondere zur Gasgewinnung.

[0002] Wirbelschichtsysteme als Gas-Feststoff-Reaktoren werden in Anwendungen eingesetzt, bei denen der Feststoff (oder Teile davon) direkt an einer chemischen Umwandlung teilnimmt bzw. wo der Feststoff eine chemische Umwandlung der Gasphase durch Energieeintrag und/oder katalytische Wirkung fördern soll. Gas-Feststoff-Reaktorsysteme mit zwei getrennten Reaktionszonen ermöglichen die Auftrennung auf zwei Gasreaktionsräume, die nur über den Feststoffstrom miteinander in Verbindung stehen, ohne dass es zu einer Vermischung der Gasströme kommt. Beispiele für solche Anwendungen sind etwa CLR- (d.h. Chemical Looping Reforming-), CLC- (d.h. Chemical Looping Combustion-) oder Vergasungsreaktionen, wobei neben der klassischen Kohlevergasung in letzter Zeit auch die Biomassevergasung stetig an Bedeutung gewinnt. Bei solchen Anwendungen werden in zunehmendem Maße auch Wirbelschichtreaktorsysteme vorgeschlagen, die zwei schnell fluidisierte, also feststofftransportierende Wirbelschichtreaktoren umfassen.

[0003] In solchen Systemen wird allgemein in einem Gaserzeugungsreaktor (oder auch "Brennstoffreaktor", "Vergasungsreaktor") aus einem festen, flüssigen oder gasförmigen Brennstoff Produktgas erzeugt, indem ein als Wärmeträger und mitunter auch als Katalysator dienender Feststoff (z.B. ein Metalloxid) zwischen dem Gaserzeugungsreaktor und einem zweiten Reaktor (oft als "Verbrennungsreaktor" oder "Luftreaktor" bezeichnet) zyklisiert wird. In letzterem Reaktor, der zumeist mit Luft fluidisiert wird, wird der Feststoff erneut auf die erforderliche Temperatur erhitzt und, bei gleichzeitiger Verwendung als Katalysator, gegebenenfalls auch regeneriert (z.B. reoxidiert).

[0004] Eines der bei derartiger Reaktionsführung zu lösenden Probleme ist die Aufrechterhaltung der notwendigen Temperaturen im Verbrennungs- oder Luftreaktor, d.h. die geeignete Wahl der Art und Menge des darin zu oxidierenden (oder verbrennenden) Mediums. Wenn der zyklisierte Feststoff auch als Katalysator dient, kann die benötigte Wärmemenge zum größten Teil aus der Reoxidation des Katalysators gewonnen werden. In anderen Fällen (oder wenn die gewonnene Oxidationswärme nicht ausreicht) muss ein zusätzlicher Brennstoff in den Verbrennungsreaktor geleitet und darin verbrannt werden. Dabei kann es sich auch um einen Teil des Brennstoffs, aus dem das gewünschte Produktgas erzeugt wird, oder einen gewissen Anteil des Produktgases selbst handeln.

[0005] Ein System, bei dem Produktgas zur Wärmegewinnung im Verbrennungsreaktor eingesetzt wird, ist etwa in der "Energiezentrale zur Umwandlung von biogenen Roh- und Reststoffen einer Region in Wärme, Strom und BioSNG und flüssige Kraftstoffe" in Güssing im Einsatz. Weitere derartige Anlagen, wo das Produktgas unter anderem auch zur Fluidisierung des Verbrennungsreaktors und/oder des Vergasungsreaktors dient, finden sich in zahlreichen Publikationen wie DE 26 11 191 A1, DE 10 2006 049 781 A1 sowie T. Mattison und A. Lyngfelt, Second Minisymposium on Carbon Dioxide Capture and Storage, Göteborg, 26. Oktober 2001 (als Beispiel für eine CLC-Anwendung), wobei mitunter jedoch nur einer der Reaktoren (nämlich der Verbrennungsreaktor) schnell fluidisiert ist und der andere dann zumeist als stationäre (z.B. blasenbildende) Wirbelschicht ausgeführt ist.

[0006] Obwohl auf diese Weise zwar die Temperatur im Verbrennungsreaktor bzw. der Fluidisierungszustand im Vergasungsreaktor gut steuerbar ist, geht einerseits ein Teil des rückgeführten Produktgases als Abgas aus dem Verbrennungs- oder Luftreaktor verloren. Andererseits hat dieser Brennstoffanteil üblicherweise mehrere Aufarbeitungsstufen, wie z.B. Kühlung, Partikelabscheider, Gasfilter und Gaswäscher, passiert und muss außerdem zwingend über eine Druckeinrichtung in den Reaktor zurückbefördert werden, so dass nicht nur Material-, sondern auch Energieverluste auftreten.

[0007] Die Anmelderin selbst hat in ihrer WO 2010/006353 A2 ein Wirbelschichtreaktorsystem offenbart, bei dem sowohl ein fester Bestandteil des Brennstoffs aus dem Gaserzeugungsreaktor - zusammen mit dem zwischen den Reaktoren zyklerten Feststoff - als auch weiterhin ein Teil des gereinigten Produktgases in den Verbrennungsreaktor geleitet und darin verbrannt werden. Dabei kann zwar gemäß der dortigen Erfindung ein gleichmäßiger Produktgasstrom für weiter führende Anlagenteile bereitgestellt werden, allerdings wird auch hier der gesamte Produktgasstrom aufwändig abgekühlt, gereinigt und verdichtet, bevor ein Teilstrom davon in den Verbrennungsreaktor zurückgeleitet und dort thermisch umgesetzt wird. Ein entsprechender Wirkungsgradverlust tritt hier für den Energieaufwand zur Abkühlung, Reinigung und Verdichtung dieses zurückgeführten Produktgasstroms auf.

[0008] Ziel der Erfindung war daher ein in dieser Hinsicht weiter verbessertes Wirbelschichtreaktorsystem.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0009] Dieses Ziel erreicht die Erfindung durch Bereitstellung eines Wirbelschichtreaktorsystems aus zumindest zwei Wirbelschichtreaktoren, das einen ersten und einen zweiten Reaktor, die jeweils als zirkulierende Wirbelschicht ausgeführt sind und getrennte Gasräume zur Durchführung chemischer Reaktionen darstellen, eine Partikelleitung zum Transport von Wirbelschichtpartikeln vom ersten in den zweiten Reaktor, eine Partikelleitung zum Rücktransport von Wirbelschichtpartikeln in den ersten Reaktor, sowie gegebenenfalls einen dritten Reaktor, der, in Richtung des zirkulierenden Partikelstroms gesehen, zwischen dem zweiten und dem ersten Reaktor angeordnet und als stationäre Wirbelschicht ausgeführt ist, umfasst und dadurch gekennzeichnet ist, dass zumindest eine im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung zum Überleiten eines definierten Gas-Teilstroms aus dem zweiten Reaktor und/oder dem dritten Reaktor in den ersten Reaktor vorgesehen ist.

[0010] Somit wird gemäß vorliegender Erfindung über die im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung praktisch kein Feststoff, sondern nahezu ausschließlich rohes Produktgas in den ersten Reaktor, der in diesem Fall als Verbrennungsreaktor dient, eingeleitet und darin verbrannt. Auf diese Weise kann gänzlich vermieden werden, aufwändig gereinigtes Produktgas verbrennen zu müssen.

[0011] Unter "im Wesentlichen nur Gas transportierend" ist hierin zu verstehen, dass durch die Wahl der Ausmündungsstelle der Leitung sowie durch ihre Dimensionierung und gegebenenfalls auch durch entsprechende optionale Einrichtungen wie Filter oder dergleichen dafür gesorgt wird, dass die Leitung praktisch keine Feststoffe in den ersten Reaktor transportiert. Aufgrund der Tatsache, dass in einem System aus zwei schnell fluidisierten Wirbelschichtreaktoren die darin enthaltenen Teilchen für jeden Ort im System eine endliche Aufenthaltswahrscheinlichkeit aufweisen, kann ohne Vorsehen von Filtern oder dergleichen in der Verbindungsleitung nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass ein gewisser, wenn auch minimaler, Anteil an Feststoffen mit dem Gasstrom in der Verbindungsleitung mitgeführt wird. Erwünscht ist jedoch ein feststofffreier Gasstrom darin.

[0012] Die im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung kann auch - genau wie sämtliche andere im erfindungsgemäßen Wirbelschichtreaktorsystem vorgesehene Leitungen - einen oder mehrere Partikelabscheider umfassen, um etwaige mitgerissene Feststoffe aus dem rohen Produktgasstrom zu entfernen.

[0013] Unter "zumindest eine im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung" ist zu verstehen, dass auch zwei oder mehr Verbindungsleitungen vorgesehen sein können, was bewirkt, dass Ströme von rohem Produktgas mit unterschiedlicher Reinheit in den ersten Reaktor eingespeist werden können, wodurch eine Optimierung zwischen Materialverlusten und Wärmegewinnung erfolgen kann. Beispielsweise kann eine erfindungsgemäße Verbindungsleitung aus dem zweiten und eine aus einem dritten (oder vierten usw.) Reaktor ausmünden, wenn dies den Zwecken der Erfindung dient. Es versteht sich jedenfalls, dass, wenn nachstehend von der im Wesentlichen nur Gas transportierenden Verbindungsleitung im Singular die Rede ist, auch mehr als eine solche Leitung gemeint sein kann.

[0014] In bevorzugten Ausführungsformen mündet die im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung an einer Position aus dem zweiten bzw. dem dritten Reaktor aus, an der ein höherer Betriebsdruck einstellbar ist, als an der Position, an der sie in den ersten Reaktor einmündet. Dadurch sind keine Pumpen oder ähnliche Druckeinrichtungen erforderlich um den rohen Produktgasstrom vom zweiten bzw. dritten in den ersten Reaktor zu befördern. Diese Differenz der Betriebsdrücke kann durch die Stärke der Fluidisierung der jeweiligen Reaktoren, aber auch einfach durch die Wahl der Höhe der Aus- und der Einmündungsstelle gesteuert werden. Das heißt, bei gleichen Druckverhältnissen in den Reaktoren reicht es aus, die Verbindungsleitung an einer unterhalb der Einmündungsstelle liegenden Stelle aus dem zweiten bzw. dritten Reaktor ausmünden zu lassen.

[0015] "Oben" und "unten" bzw. "hoch" und "tief" beziehen sich hierin generell auf die vertikale Richtung, in der die Schwerkraft wirkt, da gegen deren Wirkung die Fluidisierung der Partikel zur Ausbildung von Wirbelschichten erfolgen muss.

[0016] Die im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung kann in bevorzugten Ausführungsformen dennoch eine oder mehrere Regeleinrichtungen zur Steuerung des Gasflusses umfassen. Diese sind nicht speziell eingeschränkt und können beliebige Arten von Ventilen, Pumpen, Drosseln und dergleichen oder Kombinationen davon umfassen.

[0017] Die oder eine im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung mündet in manchen bevorzugten Ausführungsformen aus der unteren Hälfte des zweiten Reaktors aus, wodurch einerseits dafür gesorgt ist, dass die Ausmündung an einer Stelle mit relativ hohem Betriebsdruck erfolgt, und andererseits ein relativ unreiner roher Produktgasstrom aus diesem Reaktor ausgeleitet wird, wodurch ein geringerer Anteil an der Energie, die bei der Umsetzung des im zweiten Reaktor aufsteigenden Produktgases mit dem zirkulierten Feststoffstrom verbraucht wird (d.h. Wärmeenergie, Fluidisierungsenergie), verloren geht und im ersten Reaktor bei der Verbrennung des rohen Produktgases eine größere Menge an Wärmeenergie erzeugt wird. Noch bevorzugter mündet bei manchen solchen Ausführungsformen die Verbindungsleitung im unteren Drittel, insbesondere im unteren Viertel, aus dem zweiten Reaktor aus. Speziell bei Wasserdampffluidisierung des zweiten Reaktors, wie dies etwa bei der Biomassevergasung der Fall ist, ist jedoch dafür Sorge zu tragen, dass die Ausmündung in einer Höhe erfolgt, an der der Druck bereits zu einem wesentlichen Teil vom Produktgas und nicht vorwiegend vom Wasserdampf erzeugt wird, um über die erfindungsgemäße Verbindungsleitung nicht allzu große Anteile an Wasserdampf in den Verbrennungsreaktor zu leiten.

[0018] In manchen bevorzugten Ausführungsformen mündet die oder eine im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung aus der oberen Hälfte des dritten Reaktors aus. Dies bezieht sich vor allem auf (später im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher beschriebene) Ausführungsformen, bei denen der zweite Reaktor an seinem unteren Ende in einen dritten Reaktor übergeht, der als stationäre Wirbelschicht betrieben wird und in den der Brennstoff eingeleitet wird. In einem solchen dritten Reaktor herrscht ein im Vergleich zum darüber liegenden zweiten Reaktor relativ hoher Betriebsdruck. Aufgrund der Betriebsweise als stationärer (z.B. blasenbildender) Reaktor ist in der oberen Hälfte die Partikeldichte zudem normalerweise deutlich geringer. Noch bevorzugter mündet die erfindungsgemäße Verbindungsleitung daher im oberen Drittel, insbesondere im oberen Viertel, des dritten Reaktors aus.

[0019] Generell ist die Erfindung, was die Anzahl und Lage der Reaktoren im erfindungsgemäßen Wirbelschichtreaktorsystem anbelangt, nicht speziell eingeschränkt, solange zumindest zwei miteinander kommunizierende schnell fluidisierte Reaktoren vorgesehen sind. Somit können beliebige weitere Reaktoren an beliebiger Stelle des erfindungsgemäßen Wirbelschichtreaktorsystems implementiert und mit beliebigen Strömungszuständen ausgeführt sein, d.h. stationär oder transportierend, als homogene, blasenbildende, stoßende, turbulente oder schnelle Wirbelschicht oder auch pneumatisch transportierend (vgl. Grace und Bi, 1997), wenn diese dem Zweck der vorliegenden Erfindung dienen.

[0020] Es können zudem beliebige weitere Partikelleitungen zur Zyklierung oder Rezyklierung von Feststoffen zwischen den einzelnen Reaktoren oder in denselben Reaktor zurück vorgese-

hen sein, die mit beliebigen Einbauten, wie z.B. Abscheidern, die ein- oder mehrstufig sein können, Förderern, Fluidisierungen usw., versehen sein können, solange die Merkmale der Erfindung nicht beeinträchtigt werden.

[0021] Darüber hinaus versteht es sich, dass die aus den Reaktoren des Wirbelschichtreaktorsystems abgezogenen Gasströme, d.h. der Produktgasstrom und der üblicherweise hauptsächlich Stickstoff enthaltende Gasstrom aus dem Luft- oder Verbrennungsreaktor, beliebigen Behandlungen unterzogen werden, insbesondere solchen, die den Erhalt eines reinen Produktgases oder -gasgemischs ermöglichen.

[0022] Die Stelle der Einmündung der im Wesentlichen nur Gas transportierenden Verbindungsleitung in den ersten Reaktor ist ebenfalls nicht speziell eingeschränkt, wird aber, wie erwähnt, vorzugsweise so gewählt, dass der Betriebsdruck an dieser Stelle niedriger ist als an der Ausmündungsstelle im zweiten oder dritten Reaktor. Darüber hinaus hängt die Einmündungsstelle aber auch davon ab, auf welcher Höhe die bei der Verbrennung frei werdende Wärme im ersten Reaktor zur Temperaturerhöhung vonnöten ist und ob eine vollständige Verbrennung des rohen Produktgases erzielt werden kann. Somit darf die Einmündungsstelle der Verbindungsleitung nicht zu hoch liegen und liegt vorzugsweise maximal auf etwa halber Höhe, noch bevorzugter in der unteren Hälfte, insbesondere im unteren Drittel, des ersten Reaktors.

[0023] In bevorzugten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Wirbelschichtreaktorsystem mündet die Partikelleitung zum Rücktransport von Wirbelschichtpartikeln in den ersten Reaktor in der unteren Hälfte des zweiten Reaktors bzw. des dritten Reaktors aus und in der unteren Hälfte des ersten Reaktors ein, wie dies in der WO 2009/21258 A1 der Anmelderin beschrieben ist, da so der zirkulierende Feststoffstrom leichter durch die Fluidisierung der Reaktoren regulierbar ist.

[0024] In weiteren bevorzugten Ausführungsformen sind zumindest im zweiten Reaktor durch einen oder mehrere Strömungsregler voneinander getrennte Reaktionszonen vorgesehen, und die Partikelleitung zum Transport von Wirbelschichtpartikeln vom ersten in den zweiten Reaktor mündet oberhalb zumindest eines Strömungsreglers in den zweiten Reaktor ein, wie dies in der österreichischen Patentanmeldung mit der Anmeldenummer A 964/2010 der Anmelderin offenbart ist. Als Strömungsregler sind vorzugsweise eine oder mehrere Verengungen des Reaktorquerschnitts und/oder eine oder mehrere Umlenkungen des Partikelstroms vorgesehen. In solchen Ausführungsformen kann in den einzelnen Reaktionszonen des zweiten Reaktors eine längere Verweilzeit des zirkulierten Feststoffs und damit, z.B. bei Vergasungsreaktionen, ein intensiverer Kontakt mit Pyrolyseprodukten bewirkt werden, und zur Ausbildung und Aufrechterhaltung der Wirbelschicht ist ein geringerer Fluidvolumenstrom erforderlich als ohne Strömungsregler. Zudem können in unterschiedlichen Reaktionszonen unterschiedliche chemische Reaktionen durchgeführt werden, was speziell bei Vergasungsreaktionen, bei denen diverse Pyrolyseprodukte entstehen, von großem Vorteil sein kann. Bei geeigneter Wahl der Einmündungsstellen der Partikelleitungen zum Transport von Wirbelschichtpartikeln vom ersten in den zweiten Reaktor und zur Rückführung von Teilchen aus diversen Partikelabscheidern des Systems, insbesondere jener zur Rückführung von Partikeln in den zweiten Reaktor, kann so zudem ein Gegenstromeffekt zwischen den zirkulierten Feststoffteilchen und den im zweiten Reaktor aufsteigenden Pyrolyseprodukten erzielt werden.

[0025] In einem zweiten Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung die Verwendung eines solchen neuen Wirbelschichtreaktorsystems zur Gaserzeugung, vor allem zur Durchführung von Kohle- oder Biomassevergasungs- oder CLR-Verfahren, bei denen die oben beschriebenen Vorteile der Erfindung besonders zur Geltung kommen, indem während der Durchführung des Vergasungs- oder CLR-Verfahrens ein Teil des im zweiten bzw. dritten Reaktor gebildeten Synthesegases über die zumindest eine im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung kontinuierlich in den ersten Reaktor geleitet und dort zur Wärmeerzeugung oxidiert wird. Dabei kann die Menge an über die zumindest eine Verbindungsleitung in den ersten Reaktor geleitetem Synthesegas über den Druckunterschied zwischen Ausmündungs- und Einmündungsstelle der Verbindungsleitung und deren Dimensionierung und/oder über eine zusätzliche Regeleinrichtung darin gesteuert werden, wie dies bereits oben erwähnt wurde.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

- [0026]** Fig. 1 zeigt die einfachste Ausführungsform des Wirbelschichtreaktorsystems der vorliegenden Erfindung.
- [0027]** Fig. 2 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform des Wirbelschichtreaktorsystems der vorliegenden Erfindung mit einer verbindenden Partikelleitung im unteren Bereich der beiden Reaktoren.
- [0028]** Fig. 3 zeigt eine weitere bevorzugte Ausführungsform des Wirbelschichtreaktorsystems der vorliegenden Erfindung mit in einzelne Reaktionszonen unterteiltem zweitem Reaktor.
- [0029]** Fig. 4 zeigt eine weitere bevorzugte Ausführungsform des Wirbelschichtreaktorsystems der vorliegenden Erfindung mit einem dritten Reaktor.

[0030] Nachstehend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf diese Zeichnungen näher beschrieben, wobei es sich versteht, dass diese lediglich zur Illustration und nicht als Einschränkung dienen sollen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0031] In Fig. 1 ist die einfachste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Wirbelschichtreaktorsystems dargestellt. Diese Ausführungsform entspricht im Wesentlichen einem System wie von M.A. Paisley et al. in "Gasification of Refuse Derived Fuel in the Battelle High Throughput Gasification System", Battelle Memorial Institute, Columbus, USA (1989), offenbart: In einem System aus zwei schnell fluidisierten Wirbelschichtreaktoren 1 und 2 wird ein Partikelstrom zwischen den Reaktoren über Partikelleitungen 7 und 17 zyklisiert, die einen jeweiligen Partikelabscheider 3 bzw. 4 sowie jeweils ein Abdichtsystem aufweisen. In den beigefügten Figuren sind derartige Abdichtsysteme im Allgemeinen schematisch als fluidisierte Siphone dargestellt, obwohl die Erfindung nicht darauf beschränkt ist. Das heißt, dass jegliche andere Gassperren, wie z.B. fluidisierte Rutschen oder dergleichen, ebenfalls infrage kommen.

[0032] Beide Reaktoren 1 und 2 sind in bevorzugter Weise gestuft fluidisiert, was bedeutet, dass jeweils auf unterschiedlicher Höhe, nämlich an den Einlässen 11 und 13 für Reaktor 1 bzw. 12 und 14 für Reaktor 2, Fluidisierungsgas eingeblasen wird. Dadurch wird die Aufrechterhaltung der Wirbelschichten in den Reaktorräumen 9 und 10 unterstützt.

[0033] Über die Leitungen 15 und 16 können Wertstoffe in die Reaktoren eingespeist werden, während an den Auslässen 5 bzw. 6 der Gasaustrag aus den Reaktoren erfolgt. Bei Verwendung des in Fig. 1 dargestellten Wirbelschichtreaktorsystems zur Gasgewinnung, wobei Reaktor 1 den Luft- oder Verbrennungsreaktor und Reaktor 2 den Gasgewinnungs- oder Brennstoffreaktor darstellt, wird somit an den Einlässen 12 und 14 z.B. Wasserdampf zur Fluidisierung der Wirbelschicht im Reaktorraum 10 und an Einlass 16 ein Brennstoff, wie z.B. Erdgas, Kohle, Biomasse oder dergleichen, eingeleitet, während an Auslass 6 neben dem Fluidisierungsgas das gewünschte Produktgas abgezogen wird. In Reaktor 1 wird in diesem Fall über die Einlässe 11 und 13 Luft eingeleitet, um beispielsweise die Verbrennung eines Brennstoffs zur Wärmezeugung und/oder die Oxidation und Erhitzung des zwischen den Reaktoren zirkulierten Teilchenmaterials zu bewirken. Bei Verwendung des Systems für CLR-Verfahren wird hier beispielsweise ein Metalloxid regeneriert, d.h. reoxidiert, das im Reaktor 2 sowohl als Oxidationsmittel wie auch als Wärmeträger fungiert, wodurch an Auslass 5 vorwiegend an Sauerstoff abgereicherte Luft, d.h. hauptsächlich Stickstoff, anfällt. Bei Verwendung des Systems für Vergasungsreaktionen ist eine der Hauptreaktionen im Reaktor 1 jedoch die Verbrennung eines Brennstoffs zur Erzeugung von Wärme, die über den zirkulierten Partikelstrom in den zweiten Reaktor übergeführt wird. Zu diesem Zweck kann einerseits ein Anteil an gegebenenfalls vorhandenem nichtumgesetztem festem Brennstoff über die Partikelleitung 17 von Reaktor 2 in Reaktor 1 gelangen, andererseits ist es jedoch auch möglich, zusätzlichen Brennstoff über den Einlass 15 zuzuführen.

[0034] Bezugszeichen 21 bezeichnet nun die erfindungsgemäße, im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung zwischen den Reaktoren, die einen Teil des in Reaktor 2 anfallenden Produktgases als Brennstoff in den ersten Reaktor überleitet. Dadurch kann die Zufuhr von - üblicherweise reinerem und somit teurerem - Brennstoff über Einlass 15 deutlich verringert werden oder sogar gänzlich entfallen. Wie in Fig. 1 dargestellt, erfolgt die Ausmündung vorzugsweise an einer relativ tief liegenden Stelle im zweiten Reaktor und die Einmündung in den ersten Reaktor an einer etwas höheren Stelle, um so (bei Annahme etwa gleicher Druckverhältnisse in den beiden Reaktoren) einerseits zu gewährleisten, dass an der Ausmündung ein höherer Druck als an der Einmündung in den ersten Reaktor herrscht, wodurch sich das Vorsehen von Pumpen, Verdichtern, Fluidisierungen oder dergleichen in der Verbindungsleitung 21 erübrigt. Andererseits wird auf diese Weise auch ein relativ unreines Produktgasgemisch als Teilstrom aus dem Reaktor 2 abgezogen, das nachfolgende Anlagenkomponenten nicht mehr beansprucht und auch nicht mehr aufbereitet werden muss, wodurch viel Energie eingespart wird.

[0035] Zur Steuerung des Anteils an rohem Produktgas, der über die Verbindungsleitung 21 abgezogen wird, können einerseits die Lage deren Aus- und Einmündungsstelle und die dazwischen herrschende Druckdifferenz sowie die Dimensionierung der Leitung, d.h. die Wahl des Leitungsquerschnitts, dienen. Andererseits kann die Verbindungsleitung 21 jedoch in bevorzugten Ausführungsformen auch beliebige Flussregler umfassen, die in den Figuren jeweils als Ventil eingezeichnet sind, obwohl beliebige andere Bauteile, wie z.B. Drosseln, Pumpen und dergleichen, sowie Kombinationen davon ebenfalls vorgesehen sein können.

[0036] Aufgrund der tief liegenden Ausmündungsstelle der Verbindungsleitung 21 aus dem zweiten Reaktor ist freilich die Partikeldichte in diesem Teil des Reaktors üblicherweise relativ hoch, so dass sich Vorkehrungen empfehlen, mittels derer der Feststoffaustrag aus dem zweiten bzw. der Feststoffübertrag in den ersten Reaktor minimiert werden kann. Dafür kommen beliebige Bauteile wie Filter, Membranen, Partikelabscheider, z.B. Zyclone, und dergleichen infrage. Der einschlägige Fachmann sollte leicht in der Lage sein, die wirtschaftlichste Lösung für eine spezielle Anlage zu entwickeln.

[0037] In Fig. 2 ist eine verbesserte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Wirbelschichtreaktorsystems dargestellt, die im Wesentlichen dem von der Anmelderin in ihrer WO 2009/21258 A1 beschriebenen System entspricht. Hier erfolgt die Rückführung der im Partikelabscheider 4 gesammelten Feststoffe nicht über Partikelleitung 17 direkt in den ersten, sondern über eine - wiederum fluidisiert und mit Siphon dargestellte - Rückführungsleitung 8 in den zweiten Reaktor selbst. Die Partikelleitung 17 zum Rücktransport von Wirbelschichtpartikeln in den ersten Reaktor 1 mündet hier stattdessen an relativ tief liegenden Positionen der beiden Reaktoren aus Reaktor 2 aus und in Reaktor 1 ein, was es vereinfacht, den jeweils zirkulierenden Feststoffstrom anhand der Fluidisierung der beiden Reaktoren weitestgehend unabhängig vom anderen zu regulieren.

[0038] Die Einmündung der Partikelrückführung 8 erfolgt auf relativ geringer Höhe und jedenfalls deutlich unterhalb der Einmündung von Partikelleitung 7 zum Transport von Wirbelschichtpartikeln vom ersten in den zweiten Reaktor. Dies ermöglicht eine gute Durchmischung der in der Wirbelschicht des zweiten Reaktors fluidisierten Partikel, d.h. jener Partikel, die zwischen beiden Reaktoren zirkuliert werden ("globaler Partikelstrom"), wobei es sich je nach den ablaufenden chemischen Reaktionen z.B. um Katalysator-, Oxidationsmittel-, Wärmeträger- und/oder feste Brennstoffpartikel handelt, und jener Partikel, die innerhalb des zweiten Reaktors zirkuliert werden. Dadurch kommen letztere Partikel erneut mit dem globalen Partikelstrom in Kontakt, was beispielsweise die vollständige Vergasung von Brennstoffpartikeln fördert, die über Abscheider 4 und Partikelleitung 8 in Reaktor 2 zurückgeführt werden.

[0039] Die im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung 21 zwischen den Reaktoren ist wiederum an ähnlicher Position eingezeichnet wie in Fig. 1.

[0040] Fig. 3 zeigt eine ähnliche Ausführungsform wie Fig. 2, wobei zusätzlich der Gasraum 10 des zweiten Reaktors durch fünf Strömungsregler 18 in sechs Reaktionszonen unterteilt ist.

Diese Ausführungsform entspricht im Wesentlichen dem in der österreichischen Patentanmeldung mit der Anmeldenummer A 964/2010 der Anmelderin beschriebenen Wirbelschichtreaktorsystem (mit den bereits zuvor erwähnten Vorteilen), umfasst darüber hinaus aber natürlich die hierin offenbarte Verbindungsleitung 21. Letztere mündet im Vergleich zu den Ausführungsformen aus den Fig. 1 und 2 jedoch an einer höher liegenden Position aus Reaktor 2 aus, nämlich in der oberen Hälfte einer solchen Reaktionszone, wobei durch eine anfängliche Erweiterung des Leitungsquerschnitts der Feststoffgehalt im nachfolgenden dünneren Leitungsteil möglichst gering gehalten wird. Auf diese Weise gelangen - auch ohne entsprechende Bauteile wie Filter oder Membranen in der Leitung 21 vorsehen zu müssen - weniger Feststoffe aus dem zweiten Reaktor in die Verbindungsleitung 21. Um wiederum ein relativ rohes Produktgasgemisch abzuführen, mündet die Verbindungsleitung 21 auch hier an einer verhältnismäßig tief liegenden Stelle, in Fig. 3 konkret aus der zweitniedrigsten von sechs Reaktionszonen, aus dem Reaktor 2 aus.

[0041] Die obere Fluidisierung 14 dient vorrangig als Regelungsmöglichkeit zum Einstellen der Strömungszustände in den darüber liegenden Reaktionszonen des Reaktors 2, in denen ein Gegenstromeffekt auftritt. Zur Gewährleistung dieses Gegenstromeffekts mündet Partikelleitung 7, die den globalen Partikelstrom aus dem ersten Reaktor in den zweiten einspeist, in die oberste Reaktionszone von Reaktor 2 ein.

[0042] Art und Lage der Strömungsregler sind nicht speziell eingeschränkt, so dass beliebige Verengungen oder Erweiterungen des Reaktorquerschnitts, Umlenkungen des Partikelstroms sowie beliebige Kombinationen davon vorgesehen sein können. Somit liegt etwa ein "Zickzack"-Verlauf des Reaktorrohrs ebenso im Schutzbereich der Erfindung wie das Vorsehen diverser Einbauten, wie z.B. zentraler oder seitlicher Prallflächen, ringförmiger Einschnürungen usw., die zudem in beliebigem Winkel zur Strömungsrichtung stehen können. Die Art der jeweiligen Strömungsregler wird dabei hauptsächlich durch den Verwendungszweck des Wirbelschichtreaktorsystems und durch das jeweils einsetzbare Reaktorwandmaterial vorgegeben. Beispielsweise kommen für CLR-, CLC-, Vergasungs- oder andere, Hochtemperaturen erfordernde Anwendungen vorwiegend Feuerfeststoffe und andere temperaturbeständige Materialien, wie z.B. Schamotte-Ziegel, Beton oder auch Graphit, als Wandmaterial zum Einsatz. In Fig. 3 sind die Strömungsregler durchwegs als ringförmige Einbauten schematisch dargestellt.

[0043] In Fig. 4 wird eine weitere Ausführungsform der Strömungsregler, nämlich ein "Zickzack"-Verlauf des Reaktorrohrs, gezeigt. Der Hauptunterschied zur Ausführungsform von Fig. 3 liegt jedoch im dritten Reaktor 20, der zwischen dem zweiten und dem ersten Reaktor vorgesehen ist, wobei der zweite Reaktor an seinem unteren Ende in den dritten Reaktor 20 übergeht.

[0044] Dieser dritte Reaktor 20 ist als stationärer, d.h. blasenbildender, Reaktor dargestellt und wird lediglich über den am Boden liegenden Gaseinlass 12 fluidisiert, während die ebenfalls in Reaktor 20 einmündende Fluidisierung 14 zusätzlich zur Fluidisierung und Regelung der Strömungszustände im zweiten Reaktor dient, der weiterhin als schnell fluidisierte, d.h. partikeltransportierende Wirbelschicht ausgeführt ist.

[0045] Die Partikelleitung 17 zur Rückführung des globalen Feststoffstroms in den ersten Reaktor mündet hier am Boden von Reaktor 20 seitlich aus und mündet von unten in den Boden von Reaktor 1 ein, d.h. die darin transportierten Teilchen werden von der Fluidisierung der Leitung 17 und von der unteren Fluidisierung 11 des ersten Reaktors effizient in Reaktor 1 weiterbefördert und dort von Fluidisierung 13 in den Reaktorraum 9 hochgerissen.

[0046] In dieser besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung mündet die erfindungsgemäße, im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung 21 am Kopf einer vertikalen Erweiterung von Reaktor 20 aus Letzterem aus, was aufgrund der inhärent geringen Teilchendichte an dieser Stelle gewährleistet, dass kaum Feststoffe über in die Leitung 21 abgezogen werden, ohne dass dafür spezielle Einbauten erforderlich wären. Dennoch können erneut solche optionalen Einbauten, z.B. ein Filter an der Ausmündungsstelle, vorgesehen werden, um dafür zu sorgen, dass über die Verbindungsleitung 21 ausschließlich rohes Produktgasgemisch in den ersten Reaktor übergeführt wird.

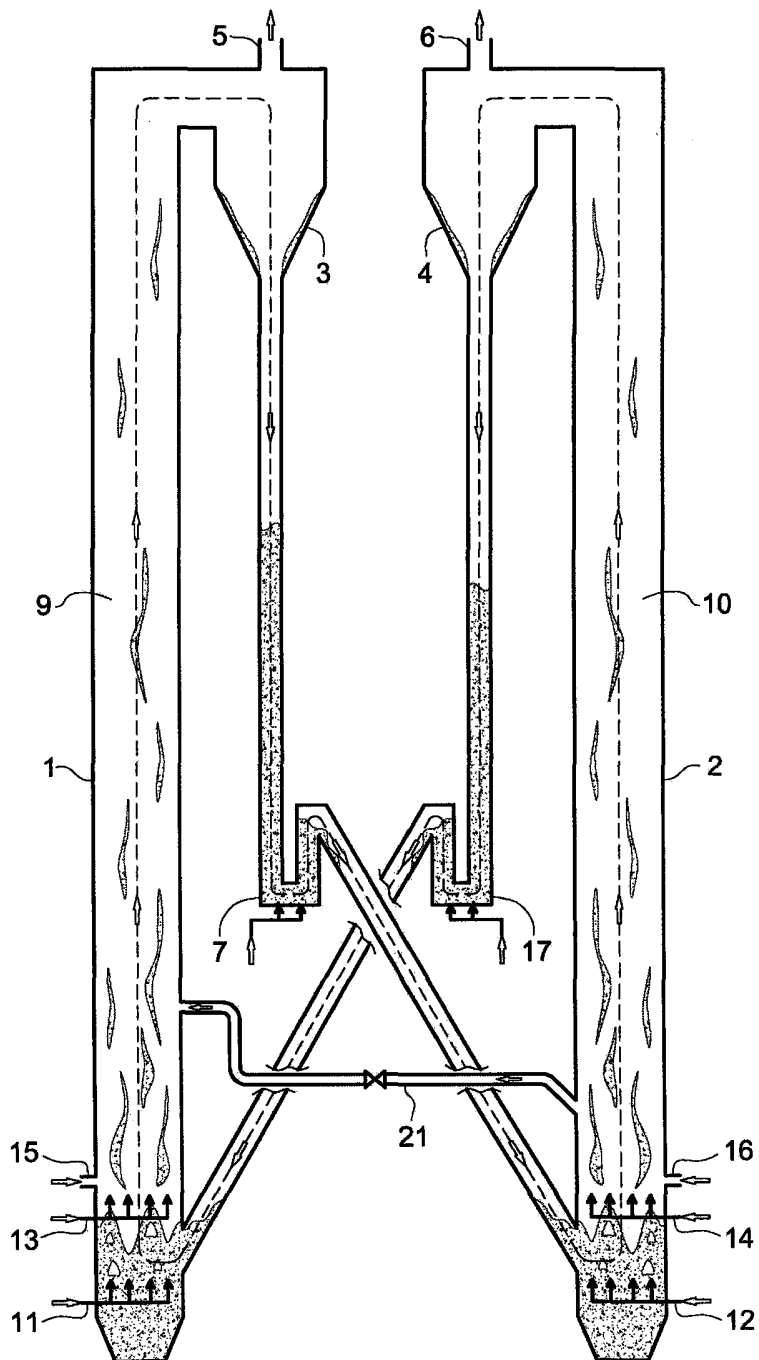
[0047] Die vorliegende Erfindung ermöglicht somit durch die Bereitstellung der im Wesentlichen nur Gas transportierenden Verbindungsleitung 21 zur Speisung der im ersten Reaktor erfolgenden Verbrennung mit rohem Produktgasgemisch auf vergleichsweise einfache Art und Weise eine deutliche Material- und Energieersparnis bei der Durchführung einer Vielfalt von chemischen Reaktionen, insbesondere bei Gasgewinnungsreaktionen, wie z.B. CLR- oder Vergasungsreaktionen.

Patentansprüche

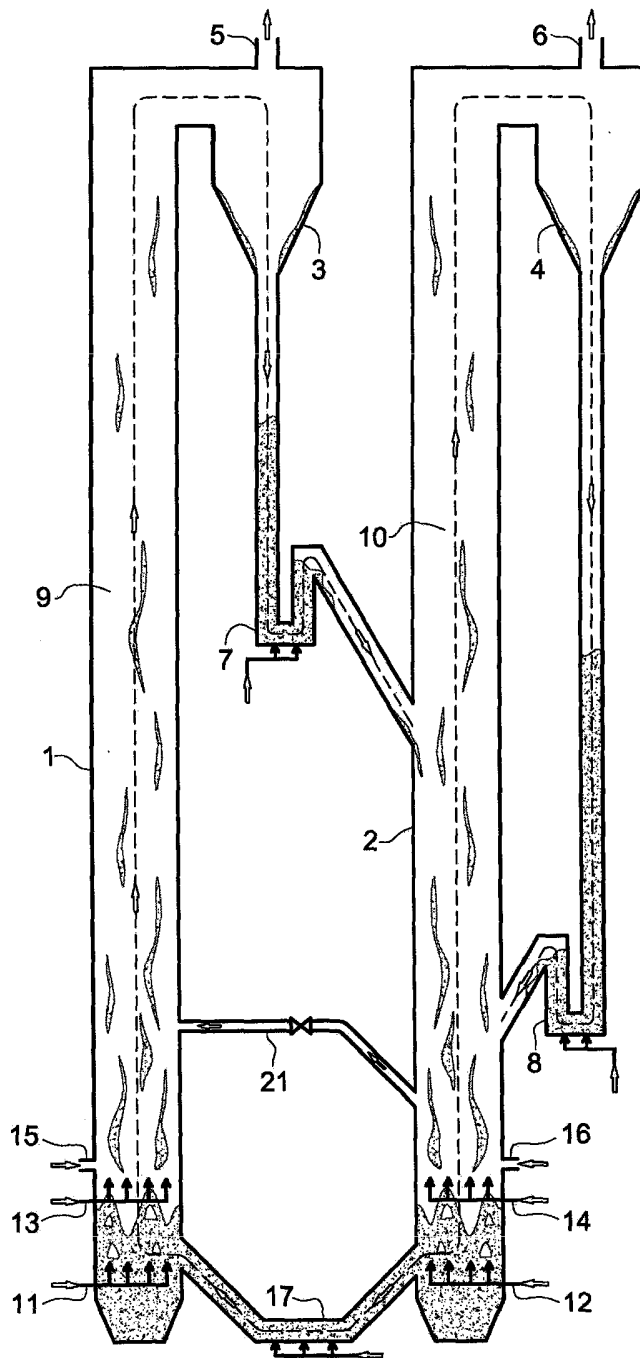
1. Wirbelschichtreaktorsystem aus zumindest zwei Wirbelschichtreaktoren, umfassend einen ersten und einen zweiten Reaktor (1, 2), die jeweils als zirkulierende Wirbelschicht ausgeführt sind und getrennte Gasräume zur Durchführung chemischer Reaktionen darstellen, eine Partikelleitung (7) zum Transport von Wirbelschichtpartikeln vom ersten in den zweiten Reaktor, eine Partikelleitung (17) zum Rücktransport von Wirbelschichtpartikeln in den ersten Reaktor (1), sowie gegebenenfalls einen dritten Reaktor (20), der, in Richtung des zirkulierenden Partikelstroms gesehen, zwischen dem zweiten und dem ersten Reaktor angeordnet und als stationäre Wirbelschicht ausgeführt ist,
dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung (21) zum Überleiten eines definierten Gas-Teilstroms aus dem zweiten Reaktor (2) und/oder dem dritten Reaktor (20) in den ersten Reaktor (1) vorgesehen ist.
2. Wirbelschichtreaktorsystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung (21) an einer Position aus dem zweiten Reaktor (2) bzw. dem dritten Reaktor (20) ausmündet, an der ein höherer Betriebsdruck einstellbar ist, als an der Position, an der sie in den ersten Reaktor (1) einmündet.
3. Wirbelschichtreaktorsystem nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung (21) eine Regeleinrichtung zur Steuerung des Gasflusses umfasst.
4. Wirbelschichtreaktorsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung (21) aus der unteren Hälfte des zweiten Reaktors (2) ausmündet.
5. Wirbelschichtreaktorsystem nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung (21) aus der oberen Hälfte des dritten Reaktors (20) ausmündet.
6. Wirbelschichtreaktorsystem nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikelleitung (17) in der unteren Hälfte des zweiten Reaktors (2) bzw. des dritten Reaktors (20) ausmündet und in der unteren Hälfte des ersten Reaktors (1) einmündet.
7. Wirbelschichtreaktorsystem nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest im zweiten Reaktor (2) durch einen oder mehrere Strömungsregler (18) voneinander getrennte Reaktionszonen vorgesehen sind und die Partikelleitung (7) oberhalb zumindest eines Strömungsreglers (18) in den zweiten Reaktor (2) einmündet.
8. Wirbelschichtreaktorsystem nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Strömungsregler (18) eine oder mehrere Verengungen des Reaktorquerschnitts und/oder eine oder mehrere Umlenkungen des Partikelstroms vorgesehen sind.
9. Verwendung eines Wirbelschichtreaktorsystems nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Gaserzeugung mittels Durchführung einer oder mehrerer Vergasungsreaktionen.
10. Verwendung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Wirbelschichtreaktorsystem ein Kohle- oder Biomassevergasungs- oder ein CLR-Verfahren durchgeführt wird.
11. Verwendung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass während der Durchführung des Vergasungs- oder CLR-Verfahrens ein Teil des im zweiten bzw. dritten Reaktor gebildeten Synthesegases über die zumindest eine im Wesentlichen nur Gas transportierende Verbindungsleitung (21) kontinuierlich in den ersten Reaktor (1) geleitet und dort zur Wärmeerzeugung oxidiert wird.

12. Verwendung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Menge an über die zumindest eine Verbindungsleitung (21) in den ersten Reaktor (1) geleitetem Synthesegas über a) den Druckunterschied zwischen Ausmündungs- und Einmündungsstelle der Verbindungsleitung (21) und deren Dimensionierung; und/oder b) eine zusätzliche Regeleinrichtung darin gesteuert wird.

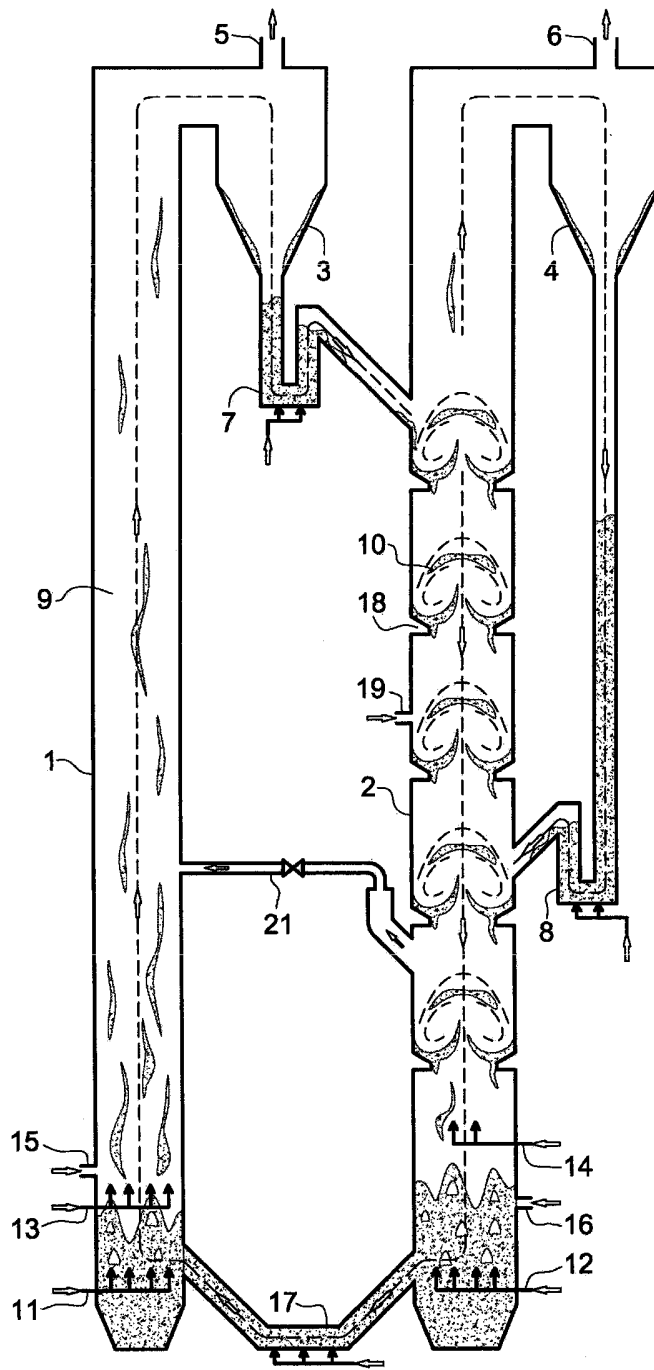
Hierzu 4 Blatt Zeichnungen



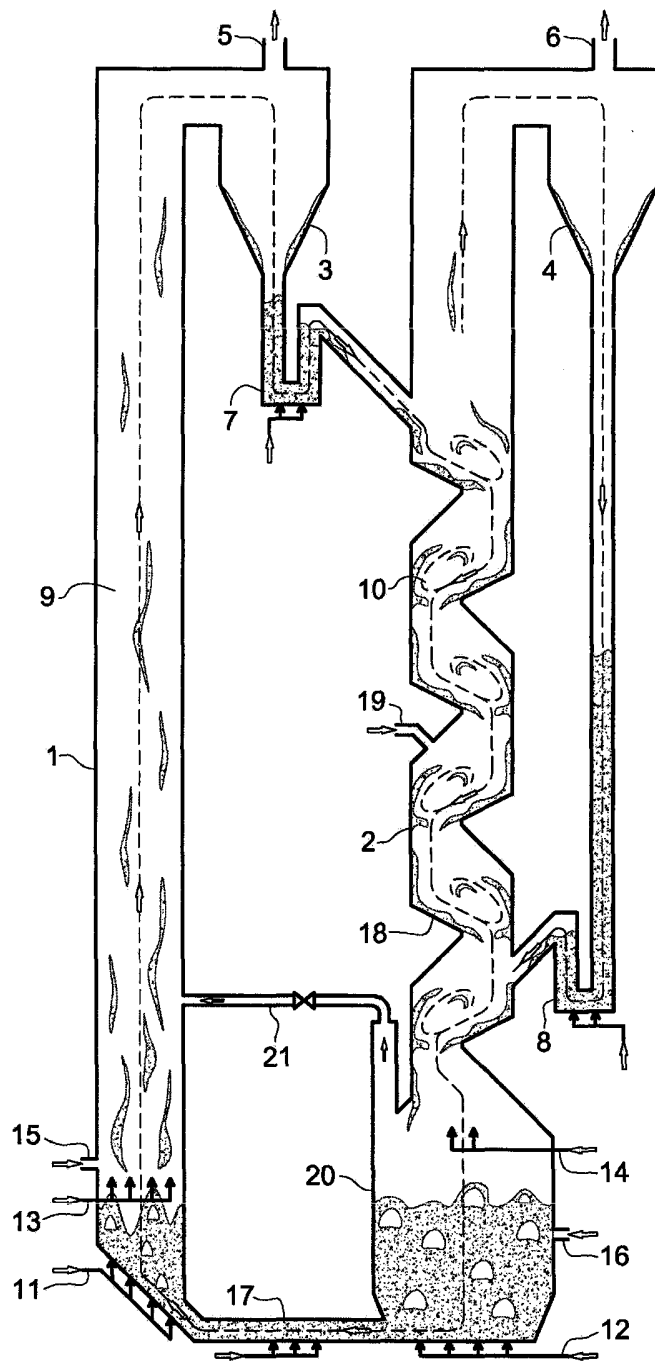
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4