

19



LE GOUVERNEMENT  
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG  
Ministère de l'Économie

11

N° de publication :

LU103046

12

**BREVET D'INVENTION****B1**

21

N° de dépôt: LU103046

51

Int. Cl.:

B01D 53/62, B01D 53/83, B01D 45/16, B01J 20/04, B01J 20/30, B09B 3/35

22

Date de dépôt: 02/12/2022

30

Priorité:

72

Inventeur(s):

BERGER Claudia – Allemagne, MAIER Oliver –  
Allemagne, KÖSTERS Justus – Allemagne, RATZLAFF  
Sergej – Allemagne

43

Date de mise à disposition du public: 03/06/2024

47

Date de délivrance: 03/06/2024

74

Mandataire(s):

THYSSENKRUPP INTELLECTUAL PROPERTY GMBH –  
45143 Essen (Allemagne)

73

Titulaire(s):

THYSSENKRUPP AG – 45143 Essen (Allemagne),  
THYSSENKRUPP INDUSTRIAL SOLUTIONS AG –  
45143 Essen (Allemagne)

54

**Verfahren und Vorrichtung zur effizienten Reduktion von Kohlendioxidemissionen.**

57

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Kohlendioxidabtrennungsanlage, wobei die Kohlendioxidabtrennungsanlage eine Gaszuführung 80, eine der Gaszuführung 80 strömungstechnisch nachgelagerte Behandlungsvorrichtung 40, eine der Behandlungsvorrichtung 40 strömungstechnisch nachgelagerte Abtrennungsvorrichtung und einen der Abtrennungsvorrichtung strömungstechnisch nachgelagerten Gasablass 56 aufweist, wobei die Kohlendioxidabtrennungsanlage eine Altbaustoffzufuhr 10 aufweist, wobei die Altbaustoffzufuhr 10 mit einer Befeuchtungsvorrichtung 30 zur Überführung des Altbaustoffs verbunden ist, wobei die Befeuchtungsvorrichtung 30 mit der Behandlungsvorrichtung 40 verbunden ist, wobei die Abtrennungsvorrichtung mit einem Altbaustoffauslass verbunden ist.

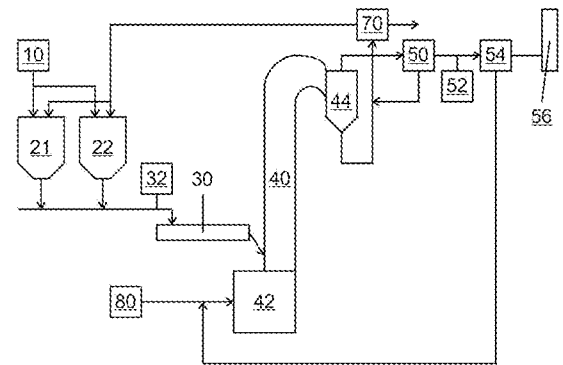


Fig. 1

## **Verfahren und Vorrichtung zur effizienten Reduktion von Kohlendioxidemissionen**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren, um mit Altbaustoffen, zum Beispiel Zementstein, Kohlendioxid sicher zu binden und so eine sichere Langzeitlagerung zu gewährleisten.

5  
In zunehmenden Maße wird es notwendig, natürliche Ressourcen zu schonen und auch recyceltes Material zurückzugreifen. Ebenso sind die Emissionen von Kohlendioxid als Ursache für die globale Erwärmung kritisch. Daher wird zunehmend auf die Abtrennung von Kohlendioxid aus dem Abgas und dessen dauerhafte Speicherung oder Nutzung  
10 gesetzt. Eine mögliche Form ist die Einbringung als verflüssigtes Kohlendioxid in das Erdreich. Dieses Verfahren ist jedoch nicht unumstritten, da ein dauerhafter Verbleib nicht zwangsläufig garantiert ist und bei einem Entweichen damit der Treibhauseffekt wieder verstärkt werden würde, zumal für Abtrennung und Lagerung weitere Energie benötigt wird und damit potentiell wieder Kohlendioxid produziert wird.

15  
Eine der Kohlendioxid-intensiven Industrien ist die Zementindustrie. Zum einen wird für den Prozess viel Energie benötigt, was bei den herkömmlichen fossilen Brennstoffen zu einer Kohlendioxid-Emission führt. Zum anderen wird aus dem Rohmaterial, beispielsweise Kalkstein, Kohlendioxid prozessbedingt freigesetzt.

20  
Auf der anderen Seite fallen bei Abriss von Beton-Bauwerken große Mengen von Altbeton an. Daher wird derzeit diskutiert, Beton wiederaufzubereiten, um beispielsweise neuen Zement herzustellen. Hierbei ist jedoch problematisch, dass beispielsweise Sand und der abgebundene Zement schwer trennbar miteinander vermischt und verbunden sind. Die  
25 sandfreie oder wenigstens sandarme Komponente des Altbetons wird auch als Altzementstein bezeichnet. Es ist bekannt, dass Beton während der Lebensdauer Kohlendioxid aufnehmen kann, jedoch nur einen Bruchteil der bei der Herstellung aus dem Kalkstein freigesetzten Kohlendioxid. Nach langer Zeit, beispielsweise bei sehr alten Gebäuden, kann dieser Wert bei etwa 20 % bezogen auf den Calciumgehalt des Betons  
30 liegen, es wird also sehr langsam und damit über lange Zeiträume in etwa 1/5 des ursprünglich freigesetzten Kohlendioxids wieder aufgenommen.

Aus der WO 2020 / 058 247 A1 ist ein Verfahren und eine Anlage zum Aufbereiten von Material, das Zementstein enthält, bekannt.

5 Aus der EP 3 656 750 A2 ist die Verwendung von Kohlendioxid aus und für Zement bekannt.

10 Aufgabe der Erfindung ist es, ein sicheres und dauerhaftes Verfahren zur Abtrennung und Endlagerung von Kohlendioxid bereitzustellen ohne dabei einen aufwändigen, insbesondere energieaufwändigen Prozess zu benötigen, der selbst eine neue Emissionsquelle darstellt.

15 Gelöst wird diese Aufgabe durch das Verfahren mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen sowie durch die Kohlendioxidabtrennungsanlage mit den in Anspruch 13 angegebenen Merkmalen. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie den Zeichnungen.

Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur Bindung von Kohlendioxid an einen Altbaustoff. Das Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

- 20 a) Bereitstellen des Altbaustoffes,
- b) Befeuchten des Altbaustoffes auf eine Feuchte von 5 bis 25 Gew.-%,
- c) Einbringen des Altbaustoffes in einen Kohlendioxid-haltigen Gasstrom und Transport des Altbaustoffes im Gasstrom für wenigstens 1 s,
- d) Abtrennen des Altbaustoffes aus dem Gasstrom.

25 Das Verfahren unterscheidet damit grundlegend von bisherigen Verfahren. Denn die Behandlung findet während des Transport im Gasstrom statt. Es wird also nicht wie bisher in einer wässrigen Umgebung durchgeführt, sondern vergleichsweise halbtrocken im Gasstrom. Dadurch ist das Verfahren besonders schonend. Hierdurch erfolgt die Umsetzung direkt von der Gasphase, welche Kohlendioxid enthält, mit dem Altbaustoff.  
30 Hierdurch kann für vergleichsweise kleine Partikel eine sehr schnelle Umsetzung erreicht werden. Gleichzeitig ist durch den Transport in der Gasphase auch eine leichte Abtrennbarkeit kleinster Partikel gegeben, sodass sich leicht auch unterschiedliche Verweilzeiten für unterschiedliche Partikelgrößen realisieren lassen. Wesentlich ist, dass

der Altbaustoff auf der einen Seite trocken genug ist, um in einem Gasstrom transportiert zu werden und auf der anderen Seite feucht genug ist, damit die Umsetzung schnell genug ablaufen kann. Daher kann hier beispielsweise die Formulierung halbtrocken gewählt werden. Vorzugsweise kann sich beispielsweise ein dünner Wasserfilm auf der Partikeloberfläche ausbilden oder Wasser in die Partikelporen eindringen. Gleichzeitig soll aber verhindert werden, dass sich ein Schlamm bildet, der eben nicht mehr im Gasstrom transportiert und behandelt werden kann. Dieses Optimum ist für Altbaustoffe, insbesondere Alzementstein, bei 5 bis 25 Gew.-% Wasseranteil (Feuchte) gegeben.

10 Altbaustoff im Sinne der Erfindung umfasst insbesondere Bauschutt, Bruchbeton, Zementstein und dergleichen in verschiedenen Aufbereitungsstufen.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt vor oder nach dem Einbringen in Schritt c) eine Zerkleinerung. Die Zerkleinerung umfasst insbesondere auch eine Desagglomeration von zusammenhaftenden Teilchen, insbesondere durch das Befeuchten in Schritt b) kann es zum Zusammenhaften von Teilchen kommen. Beispielsweise erfolgt der Transport und damit die Umsetzung in Schritt c) in einem Steigrohr. Unterhalb dieses Steigrohrs ist beispielsweise eine Hammermühle angeordnet. Der Altbaustoff kann in dieser Ausführungsform beispielsweise direkt in die Hammermühle eingebracht werden. Alternativ kann der Altbaustoff in das Steigrohr eingebracht werden. In diesem Fall sinken zu große, vom Gasstrom nicht getragene Partikel hinab, gelangen in die Hammermühle, werden dort zerkleinert und vom Gasstrom wieder aufgenommen und transportiert. Die Zerkleinerung führt zu zwei positiven Effekten. Zum einen werden große Partikel kleiner, sodass diese einfacher in einem Gasstrom transportiert werden können. Zum anderen wird durch die kleinere Partikelgröße die Diffusionslänge für das Kohlendioxid reduziert und damit die Reaktionszeit verkürzt.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt während des Transportes in Schritt c) eine Nachbefeuchtung. Dieses kann beispielsweise durch das Einsprühen von Wasser erfolgen. Alternativ oder zusätzlich kann auch Dampf verwendet werden. Hierdurch wird eine zu starke Trocknung während des Transports im Gasstrom

vermieden. Hierdurch kann insbesondere der Feuchtegehalt in Schritt b) geringer gewählt werden, sodass ein verbesserter Transport im Gasstrom in Schritt c) möglich ist.

5 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Abtrennung in Schritt d) zweistufig. Zunächst werden in einem ersten Teilschritt die größeren Partikel abgeschieden und anschließend in einem zweiten Teilschritt werden die kleineren Partikel abgeschieden. Der erste Teilschritt kann beispielsweise in einem Abscheidezyklon oder einem Sieb erfolgen. Anschließend wird der Gasstrom durch einen Filter geleitet. Im Abscheidezyklon oder im Sieb werden zunächst die größeren  
10 Partikel abgeschieden, im Filter die kleinen Partikel. Hierbei können der erste Teilschritt und der zweite Teilschritt gleichzeitig ablaufen. Alternativ können der erste Teilschritt und der zweite Teilschritt nacheinander durchgeführt werden, wobei entweder der erste Teilschritt vor dem zweiten Teilschritt erfolgt oder der zweite Teilschritt vor dem ersten Teilschritt erfolgt.

15 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt nach Schritt d) eine Rückführung des Altbaustoffes, sodass die Schritte b) bis d) wiederholt werden. Hierdurch kann die Beladbarkeit des Altbaustoffes für Kohlendioxid, welche üblicherweise in der Größe von etwa 80 % bis 90 % der Menge an beispielsweise CaO entspricht, ausgeschöpft werden.  
20 Erfolgt die Abtrennung zweistufig, sodass zwei unterschiedliche Fraktionen des Altbaustoffes entstehen, so kann beispielsweise nur die Fraktion des ersten Teilschrittes der Abtrennung, also die größeren Partikel, zurückgeführt werden. In diesem Fall werden die im zweiten Teilschritt der Abtrennung abgetrennten feineren Partikel ausgeschleust. Dieses ist bevorzugt, wenn die Fraktion der kleinsten Partikel bereits bei einem einfachen  
25 Durchlauf vollständig (im Sinne des technisch sinnvoll möglichen, also insbesondere im Bereich von etwa 80 % bis 95 % der theoretisch maximal möglichen Umsetzung) mit Kohlendioxid beladen wurden. Alternativ kann auch die zweite Fraktion teilweise oder ganz zurückgeführt werden.

30 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird eine Bestimmung des CO<sub>2</sub>-Gehalts des Altbaustoffes durchgeführt. Die Rückführung des Altbaustoffes und Wiederholung der Schritte b) bis d) solange erfolgt, bis ein vorgegebener Schwellenwert des CO<sub>2</sub>-Gehalts überschritten wird. Üblicherweise geht man von einer maximalen Beladung von

etwa 95 % aus, bezogen beispielsweise auf den theoretischen CaO Gehalt des Altbaustoffes. Dieses entspricht dem Wert, den Beton von sich aus unter normalen Umständen in der Lage ist, aufzunehmen. Der Schwellenwert kann daher beispielsweise auf 60 %, 80 %, 85 %, 90 % oder 95 % gesetzt werden, sodass die Aufnahmefähigkeit des Altbaustoffes möglichst weitgehend genutzt wird, ohne in einen kinetisch unvorteilhaften Bereich zu kommen. Wird der Schwellenwert überschritten, so wird der Altbaustoff ausgeschleust und bevorzugt neuer Altbaustoff zugeführt. Während auf natürlichem Wege also maximal bis zu 20 % wieder im Beton gebunden werden, wird durch die Erfindung wesentlich mehr Kohlendioxid in dauerhafter Weise wieder gebunden.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird der Schwellenwert des CO<sub>2</sub>-Gehalts auf 60 %, bevorzugt 70 %, weiter bevorzugt 80 %, weiter bevorzugt 85 %, weiter bevorzugt 90 %, weiter bevorzugt 85 %, der Summe an Calcium, Magnesium und/oder Eisen festgelegt. Wie bereits ausgeführt, liegt bei etwa 20 % die Grenze, welche ohne weitere Unterstützung bereits im Gebäude auf Beladung mit Kohlendioxid in einfacher Weise über sehr lange Zeit erreichbar ist, sodass der zugeführte Altbaustoff eine Beladung zwischen 0 % und 20 % aufweist. Durch den Schwellenwert soll verhindert werden, dass eine zu geringe Restaufnahmekapazität (zu dem hypothetisch / rechnerisch möglichen 100 %) dazu führt, dass praktisch kein weiteres Kohlendioxid aus dem Gasstrom aufgenommen wird. Der Schwellenwert stellt somit die Balance sicher zwischen maximaler Ausnutzung der Aufnahmekapazität des Altbaustoffes und der Kinetik der Kohlendioxidabscheidung.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Abtrennung in Schritt d) größenselektiv in wenigstens zwei Fraktionen. Dieses kann beispielsweise wie bereits ausgeführt mit einem Abscheidezyklon oder Sieb und einem Filter erfolgen. Hierbei wird die gröbere Fraktion zurückgeführt und die feinere Fraktion wird aus dem Prozess ausgeschleust. Aufgrund der deutlich geringeren Diffusionswege für das Kohlendioxid aus dem Gasstrom ist die Reaktion in kleinen Partikeln deutlich schneller als in großen Partikeln. Daher ist gerade das Ausschleusen von sehr feinen Partikeln, beispielsweise nach Abscheidung aus einem Filter sinnvoll und zielführend.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird nach Schritt d) der Gasstrom wenigstens teilweise vor den Schritt c) zurückgeführt. Hierdurch kann der Kohlendioxid-Gehalt des Gasstromes gesenkt werden. Beispielsweise kann der Gasstrom vollständig zurückgeführt werden, bis eine gewisse vorgegebene Kohlendioxidkonzentration unterschritten ist. Dieses hat den Vorteil, dass besonders geringe Kohlendioxid-Konzentrationen erreichbar sind, jedoch den Nachteil, dass die Behandlung des Gasstromes nur diskontinuierlich erfolgt, was für die meisten Abgase produzierenden Anlagen ungünstig ist. Alternativ erfolgt nur eine teilweise Rückführung. Damit ist eine geringere Kohlendioxid-Konzentration als bei einem einfachen Durchlauf möglich. Gleichzeitig ist eine kontinuierliche Zufuhr und Abfuhr von Gas möglich, was eine Behandlung eines Abgasstromes vereinfacht. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der durch das Verfahren geförderte Gasstrom im Umfang der Rückführung sich vergrößert. Werden beispielsweise 80 % des Gasstroms zurückgeführt, so ist der Gasstrom im Schritt c) fünfmal so groß wie der zugeführte zu reinigende Abgasstrom.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird im Gasstrom nach dem Transport in Schritt c) die Kohlendioxid-Konzentration im Gasstrom erfasst. Der Anteil der vor den Schritt c) zurückgeführten Menge des Gasstroms wird in Abhängigkeit von der ermittelten Kohlendioxidkonzentration gewählt. Diese aktive Regelung ermöglicht beispielsweise die Einhaltung von Emissionswerten. Zusätzlich kann dieses auch genutzt werden um zu erfassen, wenn das Material kein Kohlendioxid mehr aufnehmen kann, also nach erfolgter Reaktion die Aufnahmekapazität für Kohlendioxid erschöpft ist.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird vor und/oder nach dem Befeuchten in Schritt b) eine Messung des Feuchtegehalts durchgeführt. Die Messung des Feuchtegehalts erfolgt bevorzugt mittels eines NIR-Sensors. Bevorzugt wird die in der Befeuchtung in Schritt b) in Abhängigkeit des gemessenen Feuchtegehalts geregelt. Wichtig ist, den Feuchtegehalt hoch genug zu halten, sodass die Aufnahme des Kohlendioxids gut erfolgt. Auf der anderen Seite soll der Feuchtegehalt niedrig genug bleiben, um einen Transport im Gasstrom zu ermöglichen. Daher ist eine aktive Regelung vorteilhaft.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird als Gasstrom in Schritt c) ein Abgasstrom gewählt. Beispielsweise kann der Abgasstrom aus einem Zementwerk stammen. Beispielsweise weist der Abgasstrom eine Temperatur zwischen 80 °C und 200 °C auf. Besonders bevorzugt erfolgt keine Erwärmung des Abgasstromes. Der Vorteil dieses Verfahrens ist daher der geringe Energieverbrauch für eine sichere und langzeitsichere Bindung des Kohlendioxids aus dem Abgas. Es kann aber auch beispielsweise ein Abgasstrom beispielsweise einer Müllverbrennungsvorrichtung verwendet werden.

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine Kohlendioxidabtrennungsanlage. Insbesondere ist die Kohlendioxidabtrennungsanlage zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet. Die Kohlendioxidabtrennungsanlage weist eine Gaszuführung, eine der Gaszuführung strömungstechnisch nachgelagerte Behandlungsvorrichtung, eine der Behandlungsvorrichtung strömungstechnisch nachgelagerte Abtrennungsvorrichtung und einen der Abtrennungsvorrichtung strömungstechnisch nachgelagerten Gasablass auf. Weiter weist die Kohlendioxidabtrennungsanlage eine Altbaustoffzufuhr auf. Die Altbaustoffzufuhr ist mit einer Befeuchtungsvorrichtung zur Überführung des Altbaustoffs verbunden. Die Verbindung kann entweder direkt oder beispielsweise über einen dazwischen angeordneten Altbaustoffspeicher realisiert sein. In der Befeuchtungsvorrichtung erfolgt eine Befeuchtung des Altbaustoffes. Die Befeuchtungsvorrichtung ist mit der Behandlungsvorrichtung verbunden. In der Behandlungsvorrichtung trifft somit der befeuchtete Altbaustoffstrom auf den Gasstrom. Hier erfolgt ein Übergang von Kohlendioxid aus dem Gasstrom in den Altbaustoffstrom. Die Abtrennungsvorrichtung ist mit einem Altbaustoffauslass verbunden. Über den Altbaustoffauslass kann der mit Kohlendioxid beladene Altbaustoff entfernt und beispielsweise endgelagert oder einer weiteren Verwendung zugeführt werden.

Die Befeuchtungsvorrichtung kann beispielsweise eine Befeuchtungsschnecke oder ein Mischer sein.

Somit werden von der Behandlungsvorrichtung bis zur Abtrennungsvorrichtung der Gasstrom und der Altbaustoffstrom parallel geführt und somit der Altbaustoffstrom im

Gasstrom. Damit unterscheidet sich die Vorrichtung von herkömmlichen Anlagen, welche mit einer Flüssigkeits-Feststoff-Phase in der Behandlungsvorrichtung arbeiten, sodass eine Trennung bereits in der Behandlungsvorrichtung erfolgt und somit keine nachgelagerte Abtrennungsvorrichtung vorhanden ist. Das bedeutet aber auch, dass nur ein deutlich geringerer Wasserdarf besteht und somit das Produkt (Altbaustoff mit gebundenem Kohlendioxid) bereits wesentlich trockener und damit ohne weitere Energiezufuhr verwendbar anfällt, beispielsweise um dieses dauerhaft zu speichern, was beispielsweise auch durch eine Wiederverwendung in der Bauindustrie erfolgen kann.

10 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist die Kohlendioxidabtrennungsanlage einen ersten Altbaustoffspeicher auf. Der Altbaustoffspeicher ist zwischen der Altbaustoffzufuhr und der Befeuchtungsvorrichtung angeordnet. Der Altbaustoffspeicher ist besonders bevorzugt, wenn eine Rückführung des Altbaustoffs erfolgt.

15 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist die Kohlendioxidabtrennungsanlage einen zweiten Altbaustoffspeicher auf. Der zweite Altbaustoffspeicher ist bevorzugt parallel zum ersten Altbaustoffspeicher angeordnet. Somit kann entweder aus dem ersten Altbaustoffspeicher oder aus dem zweiten Altbaustoffspeicher Altbaustoff der Befeuchtungsvorrichtung zugeführt werden. Ebenso kann aus der Altbaustoffzufuhr entweder dem ersten Altbaustoffspeicher oder dem zweiten Altbaustoffspeicher Altbaustoff zugeführt werden. Ist eine Rückführung vorhanden, so kann die Rückführung ebenfalls dem ersten Altbaustoffspeicher oder dem zweiten Altbaustoffspeicher zugeführt werden. Hierbei ist bevorzugt, dass beispielsweise aus dem ersten Altbaustoffspeicher Altbaustoff der Befeuchtungsvorrichtung zugeführt wird und über die Rückführung der Altbaustoff dem ersten Altbaustoffspeicher wieder zugeführt wird. Parallel kann der zweite Altbaustoffspeicher beispielsweise aus der Altbaustoffzuführung befüllt werden. Ist der Altbaustoff, welcher im Kreis geführt wird, ausreichend mit Kohlendioxid beladen, so kann dieser Altbaustoff aus der Kohlendioxidabtrennungsanlage entfernt werden. Anschließend wird dem zweiten Altbaustoffspeicher Altbaustoff der Befeuchtungsvorrichtung zugeführt und über die Rückführung der Altbaustoff dem zweiten Altbaustoffspeicher wieder zugeführt wird. Der

nun geleerte erste Altbaustoffspeicher kann dann über die Altbaustoffzuführung wieder gefüllt werden.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist die  
5 Kohlendioxidabtrennungsanlage eine Rückführungsvorrichtung auf. Die  
Rückführungsvorrichtung ist zur Aufnahme von Altbaustoff aus der  
Abtrennungsvorrichtung mit der Abtrennungsvorrichtung verbunden. Die  
Rückführungsvorrichtung ist zur Rückführung des Altbaustoffs vor die  
10 Befeuchtungsvorrichtung, insbesondere in den ersten Altbaustoffspeicher und/oder einen  
optionalen zweiten Altbaustoffspeicher, ausgebildet. Durch die Rückführung ist eine  
optimale Beladung und damit Ausnutzung des Altbaustoffes zur Abscheidung und  
Bindung von Kohlendioxids in einfacher Weise möglich. Dadurch ist es auch möglich,  
eine sehr breite Partikelgrößenverteilung zu verwenden, welche damit eine sehr  
unterschiedliche Kinetik aufweist.

15 Die Verwendung einer Rückführungsvorrichtung mit einem ersten Altbaustoffspeicher  
und einem zweiten Altbaustoffspeicher ermöglicht noch eine weitere Variante des  
Verfahrens. Beispielsweise erfolgt die Zuführung von frischem Altbaustoff aus der  
Altbaustoffzuführung nur in den ersten Altbaustoffspeicher und die Rückführung von der  
20 Rückführvorrichtung nur in den zweiten Altbaustoffspeicher. Hierbei wird nach der  
Abtrennung nur ein Teilstrom des Altbaustoffes zurückgeführt. Entsprechend dem hier  
ausgeschleusten Anteil wird aus dem ersten Altbaustoffspeicher und aus dem zweiten  
Altbaustoffspeicher Altbaustoff der Befeuchtungsvorrichtung zugeführt. Werden  
beispielsweise 80 % des Altbaustoffes zurückgeführt, so werden aus dem ersten  
25 Altbaustoffspeicher  $1/5$  und aus dem zweiten Altbaustoffspeicher  $4/5$  des der  
Befeuchtungsvorrichtung zugeführten Altbaustoffes entnommen.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist die Abtrennungsvorrichtung eine  
erste Teilabtrennvorrichtung und eine zweite Teilabtrennvorrichtung auf. Insbesondere  
30 ist die erste Teilabtrennvorrichtung ein Sieb oder ein Abscheidezyklon, die zweite  
Teilabtrennvorrichtung ein Filter. Dieses hat zwei Vorteile. Neben der Abtrennung einer  
sehr feinen und üblicherweise bereits nach dem ersten Durchlauf bereits mit Kohlendioxid

gesättigten Fraktion wird auch der Abgasstrom hierdurch soweit von Altbaustoff befreit, dass dieser an die Umgebung abgegeben werden kann.

5 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die erste Teilabtrennvorrichtung mit der Rückführungsvorrichtung verbunden. Die zweite Teilabtrennvorrichtung ist mit dem Altbaustoffauslass verbunden. In dieser Ausführungsform erfolgt somit ein direktes Ausschleusen der Feinfraktion, während die Grobfraktion zurückgeführt wird. Vorteil ist auch, dass dadurch der Kreislauf nicht durch die bereits mit Kohlendioxid gesättigte Feinfraktion belastet wird.

10 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist die Behandlungsvorrichtung eine Nachbefeuchtungsvorrichtung auf. Die Nachbefeuchtungsvorrichtung kann beispielsweise eine Wassereindüsung oder auch die Zuführung von Wasserdampf sein. Hierdurch wird ein zu starkes Austrocknen des Altbaustoffes in der  
15 Behandlungsvorrichtung verhindert und gleichzeitig kann in der Befeuchtungsvorrichtung ein sehr geringer Feuchtegehalt eingestellt werden, was wiederum sehr gute Flugfähigkeit des Altbaustoffes bewirkt.

20 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die Befeuchtungsvorrichtung eine Befeuchtungsschnecke.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist die Kohlendioxidabtrennungsanlage eine Zerkleinerungsvorrichtung auf. Die Zerkleinerungsvorrichtung ist gasströmungstechnisch vor der Behandlungsvorrichtung  
25 angeordnet. Beispielsweise und bevorzugt ist die Zerkleinerungsvorrichtung eine Hammermühle. Weiter beispielhaft und bevorzugt ist die Behandlungsvorrichtung als Steigrohr ausgeführt und die Zerkleinerungsvorrichtung unter der Behandlungsvorrichtung angeordnet. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass insbesondere große Partikel, die vom Gasstrom nicht im Steigrohr nach oben getragen  
30 werden, sondern durch die Schwerkraft nach unten in die Zerkleinerungsvorrichtung gelangen und dort zerkleinert und damit letztendlich flugfähig werden und durch den Gasstrom aus der Behandlungsvorrichtung ausgetragen werden. Der Vorteil ist, dass bereits kleine, flugfähige Partikel nicht weiter zerkleinert werden, wodurch Energie

gespart wird. Natürlich ist es auch möglich, den Altbaustoff von der Befeuchtungsvorrichtung vollständig in die Zerkleinerungsvorrichtung einzubringen. Dieses ist besonders bevorzugt, wenn insbesondere die Feinfraktion nach einem Filter aus dem Kreislauf ausgeschleust wird, während die größere Fraktion nach einem  
5 Abscheidezyklon oder Sichter zurückgeführt wird. Durch das ständige erneute Einbringen in die Zerkleinerungsvorrichtung steigt so der Anteil des ausgetragenen feinen Materials.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die Zerkleinerungsvorrichtung unterhalb der Behandlungsvorrichtung angeordnet. Dieses ist, wie bereits ausgeführt  
10 bevorzugt, wenn die Behandlungsvorrichtung als Steigrohr ausgeführt ist.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die Behandlungsvorrichtung als Steigrohr ausgeführt.

15 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die Zerkleinerungsvorrichtung eine Hammermühle.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist die Kohlendioxidabtrennungsanlage eine Gasrückführung auf. Die Gasrückführung ist zur  
20 Rückführung wenigstens eines Teilgasstromes von der Abtrennungsvorrichtung zur Behandlungsvorrichtung ausgebildet. Hierdurch wird eine besonders hohe Minderung des Kohlendioxids im Gasstrom ermöglicht.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist die  
25 Kohlendioxidabtrennungsanlage einen Sensor zur Messung der Kohlendioxidkonzentration im Gasstrom auf. Der Sensor ist zur Messung der Kohlendioxidkonzentration nach der Behandlungsvorrichtung angeordnet. Damit ist es möglich, entweder zyklisch das ausreichend vom Kohlendioxid befreite Gas vollständig abzugeben oder das Verhältnis zwischen Rückführung und Abgabe einzustellen,  
30 beispielsweise um eine höchstzulässige Emissionsvorgabe einhalten zu können.

Nachfolgend ist die erfindungsgemäße Kohlendioxidabtrennungsanlage anhand eines in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Fig. 1 erstes Ausführungsbeispiel

Fig. 2 zweites Ausführungsbeispiel

Fig. 3 drittes Ausführungsbeispiel

5

In Fig. 1 ist ein erstes Ausführungsbeispiel gezeigt. Über eine Altbaustoffzufuhr 10 wird Altbaustoff, beispielsweise Zementstein, in die Anlage eingebracht. Beispielsweise wird der Altbaustoff zunächst in den ersten Altbaustoffspeicher 21 eingebracht. Von dem ersten Altbaustoffspeicher 21 wird der Altbaustoff zur Befeuchtungsvorrichtung 30 an einem Feuchtigkeitssensor 32 vorbeigeführt. Entsprechend der durch den Feuchtigkeitssensor 32 festgestellten Feuchtigkeitsgehalt des Altbaustoffes wird in der Befeuchtungsvorrichtung 30 Wasser zugegeben, um einen Gehalt von beispielsweise 15 Gew.-% Wasser einzustellen. Beispielsweise ist die Befeuchtungsvorrichtung 30 als Befeuchtungsschnecke ausgeführt. Hierdurch ist eine schnelle und innige Vermischung möglich. Aus der Befeuchtungsvorrichtung 30 wird der Altbaustoff in die Behandlungsvorrichtung 40 in Form eines Steigrohres eingebracht. Die Behandlungsvorrichtung 40 in Form eines Steigrohres wird mit einem Abgas aus einer Gaszuführung 80 durchströmt. Durch die Gasströmung werden die kleinen Partikel des Altbaustoffes nach oben getragen, große Partikel sinken nach unten. Unterhalb der Behandlungsvorrichtung 40 ist eine Zerkleinerungsvorrichtung 42 in Form einer Hammermühle angeordnet. Dort werden die großen Partikel zerkleinert, bis diese durch den Gasstrom ausgetragen und in die Behandlungsvorrichtung 40 überführt werden. In der Behandlungsvorrichtung 40 erfolgt die Reaktion zwischen dem Kohlendioxid aus dem Gasstrom und beispielsweise CaO aus dem Altbaustoff zu  $\text{CaCO}_3$ . Dadurch wird das Kohlendioxid aus dem Gasstrom entfernt und dauerhaft gebunden. In einem anschließenden Abscheidezyklon 44 wird der Hauptteil des Altbaustoffes aus dem Gasstrom entfernt. Der Gasstrom wird zur weiteren Reinigung durch einen Filter geleitet, in welchem auch sehr feine Altbaustoff-Partikel abgeschieden werden. Danach erfasst ein Sensor zur Messung der Kohlendioxidkonzentration 52 die Kohlendioxidkonzentration im Gasstrom. In Abhängigkeit der gemessenen Kohlendioxidkonzentration wird beispielsweise der Gasstromteiler 54 geregelt. Hierbei gibt es drei grundsätzlich verschiedene Vorgehen. Zum einen kann der Gasstromteiler 54 den Gasstrom vollständig rückführen, bis die erfasste Kohlendioxidkonzentration einen Vorgabewert

10

15

20

25

30

(beispielsweise <2 Vol.-%) unterschreitet. Dann wird der Gasstromteiler 54 umgestellt und der Gasstrom vollständig zum Gasablass 56, beispielsweise einem Schornstein geführt. Gleichzeitig wird neues Gas aus der Gaszuführung 80 zugeführt. Zum zweiten kann der Gasstromteiler 54 variable geregelt werden, wobei die zum Gasablass 56  
5 geführte Menge umso größer gewählt wird, je niedriger die erfasste Kohlendioxidkonzentration ist. In einer dritten Variante kann auf Sensor zur Messung der Kohlendioxidkonzentration 52 und den Gasstromteiler 54 verzichtet werden, der Gasstrom wird vollständig zum Gasablass 56 geführt. Dieses ist bevorzugt, wenn nur ein kleiner Teil des Kohlendioxids entfernt werden soll, beispielsweise um in einem  
10 vollständig mit regenerativen Energiequellen betriebenen Zementwerk nur den Kohlendioxidanteil aus dem Abgas zu reinigen, welcher aus den mineralischen Edukten stammt. Da aber vermutlich für eine solche Anwendung für vollständige Entfernung des Kohlendioxids vermutlich nicht ausreichend Altbaustoff zur Verfügung steht und daher nur eine Teilabtrennung möglich ist, kann eine direkte Abgabe des Gasstromes vorteilhaft  
15 sein.

Der aus dem Abscheidezyklon 44 und dem Filter 50 stammende Altbaustoff wird vereint und einem Altbaustoffstromteiler 70 zugeführt. Auch dieser kann unterschiedlich betrieben werden. Entweder wird zyklisch der Altbaustoff rezykliert und nur zeitweise  
20 vorzugsweise vollständig abgegeben, beispielsweise, wenn der Carbonatgehalt im Altbaustoff so hoch ist, dass eine weitere Rückführung nicht sinnvoll ist. Alternativ kann kontinuierlich ein Teilstrom abgetrennt und abgegeben werden, wohingegen ein zweiter Teilstrom zurückgeführt wird. Dieser zweite Teilstrom wird beispielsweise dem zweiten Altbaustoffspeicher zugeführt.

25  
Fig. 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel. Dieses unterscheidet sich von ersten Ausführungsbeispiel dadurch, dass der aus dem Filter 50 abgeschiedene Altbaustoff direkt ausgeschleust und nicht rezykliert wird. Zum zweiten weist die Anlage einen Carbonat-Sensor 72 auf, mit welchem der Carbonatgehalt im Altbaustoff nach dem  
30 Abscheiden im Abscheidezyklon 44 erfasst wird. Bevorzugt führt der Altbaustoffstromteiler 70 den Altbaustoffstrom vollständig zurück, bis der am Carbonat-Sensor 72 erfasste Carbonatgehalt einen Schwellenwert übersteigt. Dann wird der Altbaustoffstrom vollständig ausgeschleust. Gleichzeitig wird dann die Zuführung von

Altbaustoff aus dem ersten Altbaustoffspeicher und dem zweiten Altbauspeicher umgeschaltet, diese vertauschen somit ihre Aufgabe. Als dritter Unterschied wird der Altbaustoff nach der Befeuchtungsvorrichtung 30 direkt in die Zerkleinerungsvorrichtung 42 eingebracht und somit der Anteil kleiner und damit sehr schnell reagierender Partikel erhöht und gleichzeitig der Austrag des Altbaustoffes nach Abscheiden im Filter 50.

In Fig. 3 ist ein drittes Ausführungsbeispiel gezeigt. Das dritte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich vom zweiten Ausführungsbeispiel dadurch, dass am Ende der als Steigrohr ausgeführten Behandlungsvorrichtung 40 ein Sieb 43 angeordnet ist. Dort werden sehr grobe Partikel des Altbaustoffes abgetrennt und vollständig zurückgeführt. Der im Abscheidezyklon 44 und im Filter 50 abgeschiedene Altbaustoff wird aus der Anlage entnommen.

#### Bezugszeichen

15	10	Altbaustoffzufuhr
	21	erster Altbaustoffspeicher
	22	zweiter Altbaustoffspeicher
	30	Befeuchtungsvorrichtung
	32	Feuchtigkeitssensor
20	40	Behandlungsvorrichtung
	42	Zerkleinerungsvorrichtung
	43	Sieb
	44	Abscheidezyklon
	50	Filter
25	52	Sensor zur Messung der Kohlendioxidkonzentration
	54	Gasstromteiler
	56	Gasablass
	70	Altbaustoffstromteiler
	72	Carbonat-Sensor
30	80	Gaszuführung

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bindung von Kohlendioxid an einen Altbaustoff, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:
  - 5 a) Bereitstellen des Altbaustoffes,
  - b) Befeuchten des Altbaustoffes auf eine Feuchte von 5 bis 25 Gew.-%,
  - c) Einbringen des Altbaustoffes in einen Kohlendioxid-haltigen Gasstrom und Transport des Altbaustoffes im Gasstrom für wenigstens 1 s,
  - d) Abtrennen des Altbaustoffes aus dem Gasstrom.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor oder nach dem Einbringen in Schritt c) eine Zerkleinerung erfolgt.
3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des Transportes in Schritt c) eine Nachbefeuchtung erfolgt.
- 15 4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abtrennung in Schritt d) zweistufig erfolgt und zunächst in einem ersten Teilschritt die größeren Partikel abgeschieden werden und in einem zweiten Teilschritt die kleineren Partikel abgeschieden werden.
- 20 5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Schritt d) eine Rückführung des Altbaustoffes erfolgt, sodass die Schritte b) bis d) wiederholt werden.
- 25 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Bestimmung des CO<sub>2</sub>-Gehalts des Altbaustoffes durchgeführt wird, wobei die Rückführung des Altbaustoffes und Wiederholung der Schritte b) bis d) solange erfolgt, bis ein vorgegebener Schwellenwert des CO<sub>2</sub>-Gehalts überschritten wird.
- 30 7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwellenwert des CO<sub>2</sub>-Gehalts auf 60 %, bevorzugt 70 %, weiter bevorzugt 80 %, weiter bevorzugt 85 %, weiter bevorzugt 90 %, weiter bevorzugt 85 %, der Summe an Calcium, Magnesium und/oder Eisen festgelegt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abtrennung in Schritt d) gröÙenselektiv in wenigstens zwei Fraktionen erfolgt, wobei die gröÙere Fraktion zurückgeföhrt wird und wobei die feinere Fraktion aus dem Prozess ausgeschleust wird.
- 5
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor und/oder nach dem Befeuchten in Schritt b) eine Messung des Feuchtegehalts durchgeführt wird, wobei die Messung des Feuchtegehalts bevorzugt mittels eines NIR-Sensors erfolgt.
- 10
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Gasstrom in Schritt c) ein Abgasstrom gewählt wird.
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Schritt d) der Gasstrom wenigstens teilweise vor den Schritt c) zurückgeföhrt wird.
- 15
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Gasstrom nach dem Transport in Schritt c) die Kohlendioxid-Konzentration im Gasstrom erfasst wird, wobei der Anteil der vor den Schritt c) zurückgeföhrt Menge des Gasstroms in Abhängigkeit von der ermittelten Kohlendioxidkonzentration gewählt wird.
- 20
13. Kohlendioxidabtrennungsanlage, wobei die Kohlendioxidabtrennungsanlage eine Gaszuföhung (80), eine der Gaszuföhung (80) strömungstechnisch nachgelagerte Behandlungsvorrichtung (40), eine der Behandlungsvorrichtung (40) strömungstechnisch nachgelagerte Abtrennungsvorrichtung und einen der Abtrennungsvorrichtung strömungstechnisch nachgelagerten Gasablass (56) aufweist, wobei die Kohlendioxidabtrennungsanlage eine Altbaustoffzuföh (10) aufweist, wobei die Altbaustoffzuföh (10) mit einer Befeuchtungsvorrichtung (30) zur Überföhung des Altbaustoffs verbunden ist, wobei die Befeuchtungsvorrichtung (30) mit der Behandlungsvorrichtung (40) verbunden ist, wobei die Abtrennungsvorrichtung mit einem Altbaustoffauslass verbunden ist.
- 25
- 30

14. Kohlendioxidabtrennungsanlage nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kohlendioxidabtrennungsanlage einen ersten Altbaustoffspeicher (21) aufweist, wobei der erste Altbaustoffspeicher (21) zwischen der Altbaustoffzufuhr (10) und der Befeuchtungsvorrichtung (30) angeordnet ist.
- 5
15. Kohlendioxidabtrennungsanlage nach einem der Ansprüche 13 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kohlendioxidabtrennungsanlage eine Rückführungsvorrichtung aufweist, wobei die Rückführungsvorrichtung zur Aufnahme von Altbaustoff aus der Abtrennungsvorrichtung mit der
- 10
- Abtrennungsvorrichtung verbunden ist, wobei die Rückführungsvorrichtung zur Rückführung des Altbaustoffs vor die Befeuchtungsvorrichtung (30), insbesondere in den ersten Altbaustoffspeicher (21), ausgebildet ist.
16. Kohlendioxidabtrennungsanlage nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abtrennungsvorrichtung eine erste
- 15
- Teilabtrennvorrichtung und eine zweite Teilabtrennvorrichtung aufweist.
17. Kohlendioxidabtrennungsanlage nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Teilabtrennvorrichtung ein Sichter (43) oder ein Abscheidezyklon
- 20
- (44) ist, wobei die zweite Teilabtrennvorrichtung ein Filter (50) ist.
18. Kohlendioxidabtrennungsanlage nach einem der Ansprüche 16 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Teilabtrennvorrichtung mit der
- 25
- Rückführungsvorrichtung verbunden ist und die zweite Teilabtrennvorrichtung dem Altbaustoffauslass verbunden ist.
19. Kohlendioxidabtrennungsanlage nach einem der Ansprüche 13 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Behandlungsvorrichtung (40) eine
- 30
- Nachbefeuchtungsvorrichtung aufweist.
20. Kohlendioxidabtrennungsanlage nach einem der Ansprüche 13 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Befeuchtungsvorrichtung (30) eine Befeuchtungsschnecke ist.

21. Kohlendioxidabtrennungsanlage nach einem der Ansprüche 13 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kohlendioxidabtrennungsanlage eine Zerkleinerungsvorrichtung (42) aufweist, wobei die Zerkleinerungsvorrichtung (42) gasströmungstechnisch vor der Behandlungsvorrichtung (40) angeordnet ist.
- 5
22. Kohlendioxidabtrennungsanlage nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zerkleinerungsvorrichtung (42) unterhalb der Behandlungsvorrichtung (40) angeordnet ist.
- 10
23. Kohlendioxidabtrennungsanlage nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Behandlungsvorrichtung (40) als Steigrohr ausgeführt ist.
24. Kohlendioxidabtrennungsanlage nach einem der Ansprüche 21 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zerkleinerungsvorrichtung (42) eine Hammermühle ist.
- 15
25. Kohlendioxidabtrennungsanlage nach einem der Ansprüche 13 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kohlendioxidabtrennungsanlage eine Gasrückführung aufweist, wobei die Gasrückführung zur Rückführung wenigstens eines Teilgasstromes von der Abtrennungsvorrichtung zur Behandlungsvorrichtung (40) ausgebildet ist.
- 20
26. Kohlendioxidabtrennungsanlage nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kohlendioxidabtrennungsanlage einen Sensor zur Messung der Kohlendioxidkonzentration (52) im Gasstrom aufweist, wobei der Sensor zur Messung der Kohlendioxidkonzentration (52) nach der Behandlungsvorrichtung (40) angeordnet ist.
- 25

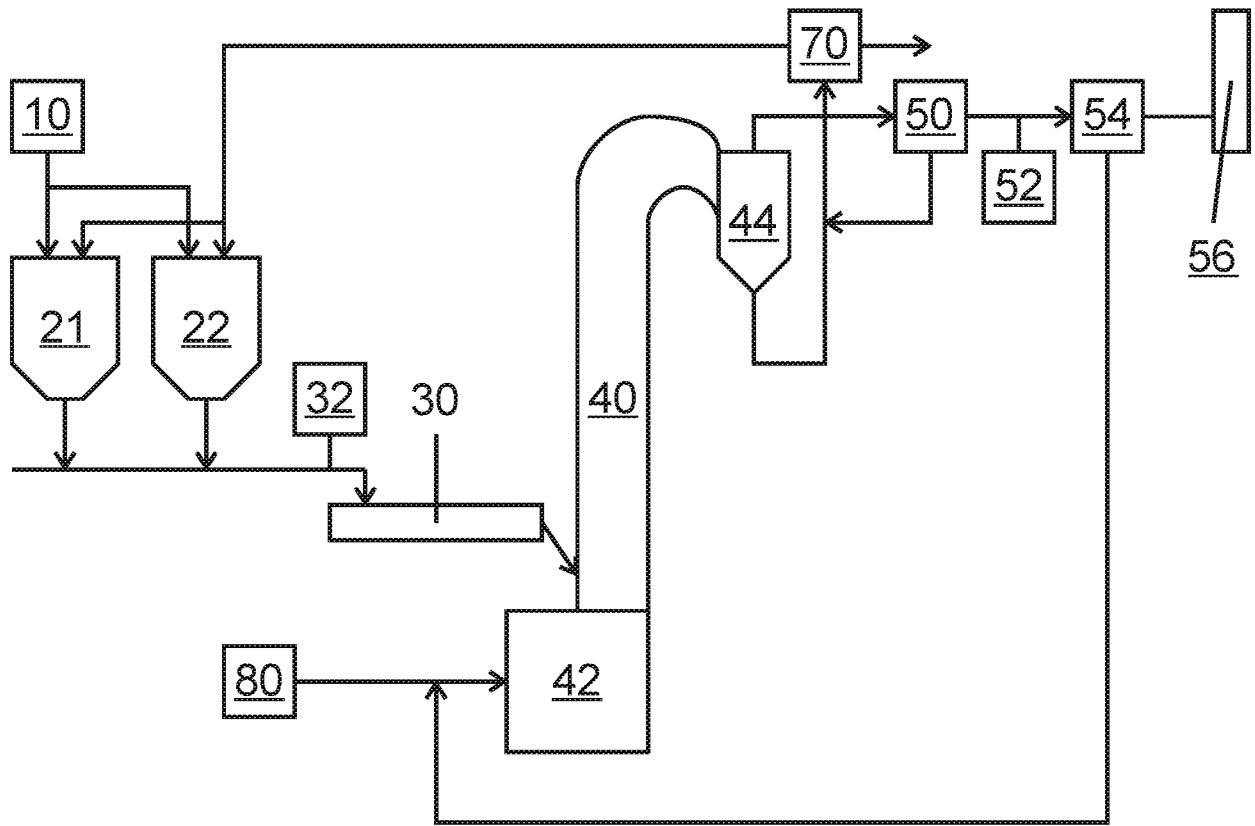


Fig. 1



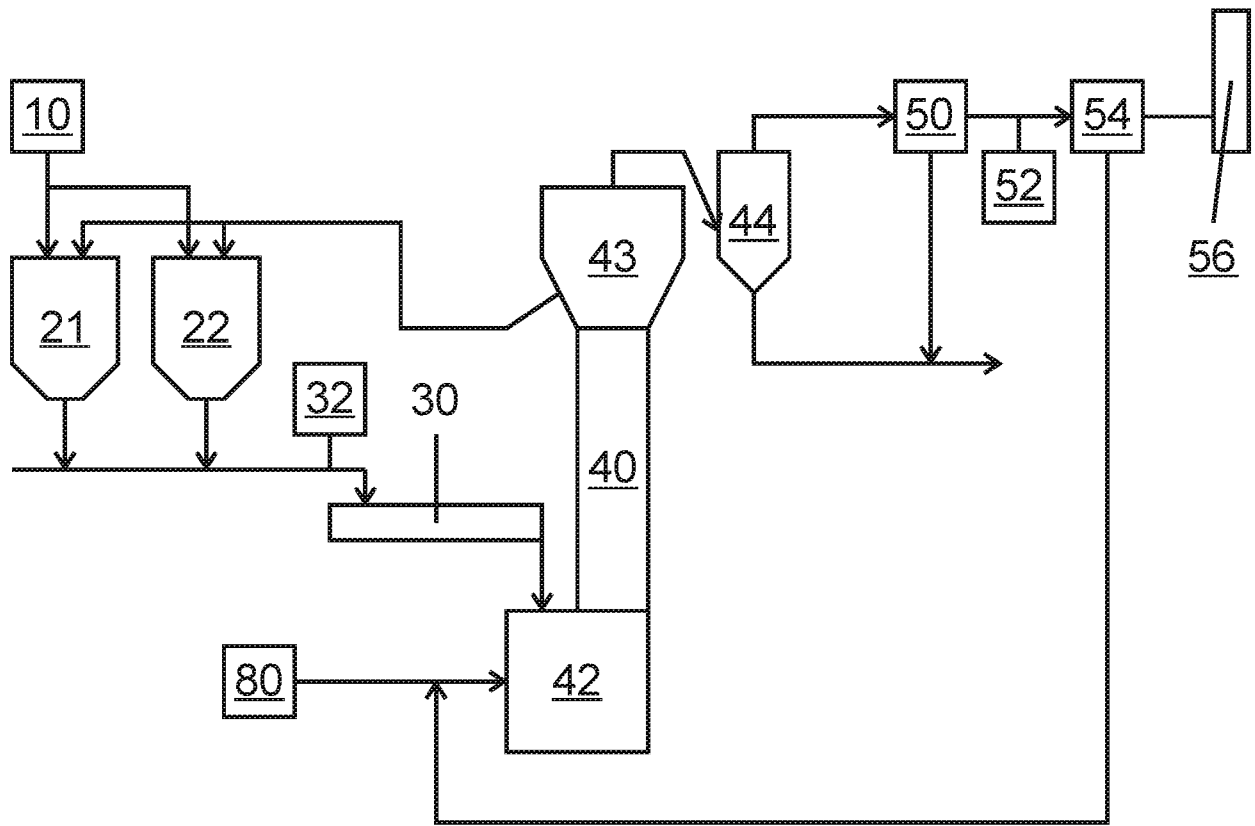


Fig. 3