



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 203 074.2**

(22) Anmeldetag: **26.03.2021**

(43) Offenlegungstag: **29.09.2022**

(51) Int Cl.: **C04B 7/44 (2006.01)**

**B01J 6/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**thyssenkrupp AG, 45143 Essen, DE;**  
**thyssenkrupp Industrial Solutions AG, 45143**  
**Essen, DE**

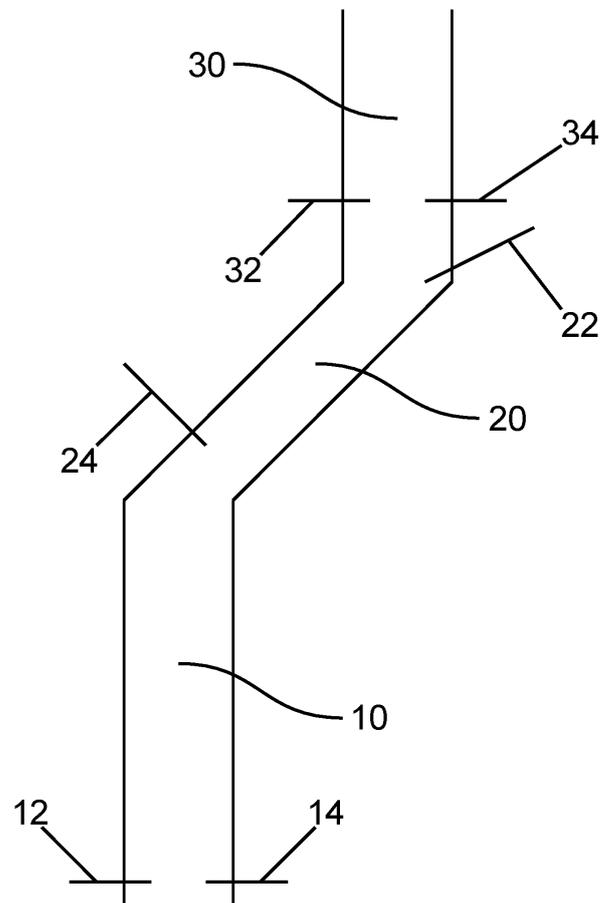
**Clarholz, DE; Kimmig, Constantin, 59494 Soest,**  
**DE; Lemke, Jost, 59320 Ennigerloh, DE**

(72) Erfinder:  
**Willms, Eike, 44309 Dortmund, DE; Brunelot,**  
**Patrick, Marseille, FR; Uhde, Martin, 59320**  
**Ennigerloh, DE; Ontrup, Olaf, 33442 Herzebrock-**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur thermischen Behandlung eines mineralischen Edukts**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur thermischen Behandlung eines mineralischen Edukts, wobei die Vorrichtung einen Calcinator (110) aufweist, wobei der Calcinator (110) wenigstens einen ersten Calcinatorabschnitt (10) und einen zweiten Calcinatorabschnitt (20) aufweist, wobei der erste Calcinatorabschnitt (10) senkrecht angeordnet ist, wobei der zweite Calcinatorabschnitt (20) schräg angeordnet ist, wobei der zweite Calcinatorabschnitt (20) einen Winkel  $\alpha$  zwischen der Horizontalen und der Strömungsrichtung des zweiten Calcinatorabschnitts (20) aufweist, wobei der Winkel  $\alpha$  zwischen  $20^\circ$  und  $80^\circ$  liegt, wobei der erste Calcinatorabschnitt (10) einen ersten hydraulischen Durchmesser  $d_{h,1}$  aufweist, wobei der zweite Calcinatorabschnitt (20) einen zweiten hydraulischen Durchmesser  $d_{h,2}$  aufweist, wobei der zweite hydraulische Durchmesser  $d_{h,2}$  kleiner oder gleich dem ersten hydraulischen Durchmesser  $d_{h,1}$  multipliziert mit dem Sinus des Winkels  $\alpha$  ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur thermischen Behandlung von mineralischen Edukten, insbesondere zur Herstellung von Zementklinker.

**[0002]** Eine Anlage zur Klinkerherstellung weist beispielsweise einen Drehrohrofen, einen Calcinator und einen Vorwärmer auf. Während der Materialstrom des Feststoffes, am Anfang kalkhaltige Rohmehlmischung am Ende Zementklinker, vom Vorwärmer über den Calcinator in den Drehrohrofen und meist anschließend in einen Kühler verläuft, strömt das Gas entgegengesetzt vom Drehrohrofen zum Calcinator und von dort in den Vorwärmer. Während im Drehrohrofen der Materialstrom des Klinkers und der Gasstrom gegenläufig sind, werden im Calcinator und im Vorwärmer der Gasstrom und der Materialstrom jeweils streckenweise im Gleichstrom geführt und anschließend in einem Zyklon getrennt. Wird das feste Material im Gleichstrom geführt, muss der Gasstrom in der Lage sein, das Material auch zu tragen, ohne dass das Material ausfällt, sedimentiert oder sich in anderer Art niederschlägt.

**[0003]** Im Calcinator wird auf der einen Seite durch die Verbrennung von Brennstoff Energie in Form von Wärme erzeugt, die auf der anderen Seite durch die endotherme Entsäuerungsreaktion des Edukts, also unter Abgabe von  $\text{CO}_2$ , verbraucht wird. Es ist daher zielführend, Brennstoff und Edukt ortsnah zueinander in den Calcinator einzubringen, wodurch auch Bereiche mit erhöhten Temperaturen vermieden werden.

**[0004]** Als Brennstoff werden üblicherweise flugfähige Brennstoffe, beispielsweise Kohlenstaub, eingesetzt. Es wird jedoch zunehmend wichtig, Ersatzbrennstoffe einzusetzen beziehungsweise deren Anteil zu erhöhen, um beispielsweise die  $\text{CO}_2$ -Bilanz des Gesamtprozesses zu optimieren und auch um kostengünstigere Brennstoffe einsetzen zu können. Hierdurch ist auch eine verbesserte Einbindung der Zementindustrie in die Kreislaufwirtschaft erzielbar. Diese sind jedoch aufgrund ihrer Größenverteilung nicht in allen Fällen flugfähig, beziehungsweise die für die Zerkleinerung zur Herstellung der Flugfähigkeit übersteigt das wirtschaftlich sinnvolle Maß. Um auch die nicht flugfähigen Ersatzbrennstoffe einsetzen zu können, werden derzeit entsprechende Brennkammern seitlich an den Calcinator angesetzt. Ist die Brennkammer beispielsweise seitlich am Calcinator angeordnet ohne dass dort auch Edukt aufgegeben wird, so sind der Ort der Energieerzeugung durch Verbrennung und der Ort des Energieverbrauchs durch Entsäuerung räumlich getrennt.

**[0005]** Aus der DE 10 2018 206 673 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung von Zementklinker mit erhöhtem Sauerstoffanteil bekannt.

**[0006]** Aus der DE 10 2018 206 674 A1 ist ein weiteres Verfahren zur Herstellung von Zementklinker mit erhöhtem Sauerstoffanteil bekannt.

**[0007]** Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitzustellen, bei dem auch ein sehr grober Brennstoff direkt im Calcinator verbrannt werden kann.

**[0008]** Gelöst wird diese Aufgabe durch die Vorrichtung mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie den Zeichnungen.

**[0009]** In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer Vorrichtung zur thermischen Behandlung eines mineralischen Edukts. Bevorzugt handelt es sich um ein Verfahren zum Betreiben einer Vorrichtung zur Herstellung von Zementklinker. Es kann die Vorrichtung aber auch für die thermische Behandlung von Tonen oder beispielsweise von Lithium-Erzen genutzt werden. Im Folgenden wird die Herstellung von Zementklinker als Beispiel verwendet. Das Verfahren wird in einer Vorrichtung mit einem Calcinator mit einem schrägen zweiten Calcinatorabschnitt durchgeführt. Während des Betriebes wird ein Gasstrom durch den zweiten Calcinatorabschnitt geführt. Beispielsweise und bevorzugt stammt der Gasstrom aus einem Drehrohrofen. Beispielsweise und bevorzugt enthält der Gasstrom hauptsächlich Sauerstoff und dazu das im Drehrohrofen durch Verbrennung und die Restentsäuerung des Edukts (üblicher Weise um die 10 % der gesamten Entsäuerung) entstandenen  $\text{CO}_2$ . Bevorzugt enthält der Gasstrom weniger als 20 Vol.-% Stickstoff, besonders bevorzugt weniger als 15 Vol.-% Stickstoff, bevorzugt etwa 50 bis 70 Vol.-% Sauerstoff. Die vorgenannten Werte beziehen sich auf trockenes Gas, also ohne Berücksichtigung des Wassers. Bevorzugt enthält damit der eintretende Gasstrom ausreichend Sauerstoff für die Verbrennung der in den Calcinator zugeführten Brennstoffe.

**[0010]** Erfindungsgemäß wird die Froude-Zahl im zweiten Calcinatorabschnitt größer als 0,7, bevorzugt größer als 2, gewählt. Weiter wird die Froude-Zahl im zweiten Calcinatorabschnitt kleiner als 9, bevorzugt kleiner als 4, gewählt. Hierdurch ist die Tragfähigkeit des Gasstromes für Feststoff, Edukt beziehungsweise Produkt, gegeben und der Feststoff setzt sich nicht im Bereich des zweiten Calcinatorabschnitts ab.

**[0011]** Die Froude-Zahl  $Fr$  ist die Geschwindigkeitskomponente des Gasstroms in vertikaler Richtung  $v_z$  dividiert durch die Wurzel aus dem Produkt der Erdbeschleunigung  $g$  mit dem hydraulischen Durchmesser  $d_h$ .

$$Fr = \frac{v_z}{\sqrt{g \cdot d_h}}$$

mit:

$$d_h = 4 \cdot \frac{A}{P}$$

**[0012]** Der hydraulische Durchmesser ist das vierfache des Quotienten aus dem durchströmten Fläche A quer zur Strömungsrichtung geteilt durch den durchströmten Umfang P ist.

**[0013]** Während beispielsweise in einem senkrechten ersten Calcinatorabschnitt die Geschwindigkeitskomponente des Gasstroms in vertikaler Richtung  $v_z$  gleich der Strömungsgeschwindigkeit des Gasstromes  $v$  ist, ist im schrägen zweiten Calcinatorabschnitt der Winkel  $\alpha$  zu berücksichtigen. Die Geschwindigkeitskomponente des Gasstroms in vertikaler Richtung  $v_z$  ist hier die Strömungsgeschwindigkeit des Gasstromes  $v$  multipliziert mit dem Sinus des Winkels  $\alpha$ .

$$v_z = v \cdot \sin(\alpha)$$

**[0014]** Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Strömungsgeschwindigkeit keine Konstante ist. Die Strömungsgeschwindigkeit wird innerhalb des Calcinators durch verschiedene Prozesse verändert. Zum einen führen Temperaturunterschiede zu Unterschieden. In Bereichen mit höherer Temperatur möchte das Gas einen größeren Raum einnehmen, was zu einer Erhöhung der Geschwindigkeit  $v$  führt. Ebenso führt die Entsäuerung des Edukts zu einer Abgabe von  $\text{CO}_2$ , was die Stoffmenge erhöht und somit auch zu einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit führt. Weiter kann auch aus dem Brennstoff eine Erhöhung der Stoffmenge resultieren, beispielsweise auf freigesetztem oder bei der Verbrennung entstehendem Wasser. Diese Effekte führen dazu, dass die Froude-Zahl bei einer konstanten Geometrie innerhalb eines Calcinatorabschnitts nicht konstant ist, sondern ortsabhängig verschieden ist.

**[0015]** Besonders bevorzugt wird der Calcinator mit einer turbulenten Strömung betrieben. Hierdurch weist das Geschwindigkeitsprofil der Strömung nur geringe Schwankungen über die Breite der Strömung auf. Bei einer laminaren Durchströmung weist die Geschwindigkeit des Gasstromes eine Verteilung über die Breite auf, die am Rand null und in der Mitte ein Maximum aufweist. Hierdurch wäre die Tragfähigkeit ortsabhängig, was die Prozessführung kompliziert.

**[0016]** In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird der Calcinator mit einer Atmosphäre mit

weniger als 25 % Stickstoff, bevorzugt mit weniger als 15 % Stickstoff, weiter bevorzugt mit weniger als 10 % Stickstoff, besonders bevorzugt mit weniger als 5 % Stickstoff betrieben.

**[0017]** Da die Froude-Zahl als Maß für die Tragfähigkeit des Gasstromes für das als Feststoff vorliegende Edukt zu betrachten ist, und die Tragfähigkeit im zweiten Calcinatorabschnitt wenigstens so hoch sein muss wie im ersten Calcinatorabschnitt, muss die Froude-Zahl im zweiten Calcinatorabschnitt überall größer sein als das Minimum der Froude-Zahl im ersten Calcinatorabschnitt, wenn die Strömungsgeschwindigkeit und damit die Froude-Zahl im ersten Calcinatorabschnitt so gering wie möglich gehalten wird. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass durch den Neigungswinkel  $\alpha$  nicht die ganze Strömungsgeschwindigkeit  $v$ , sondern nur deren z-Komponente  $v_z$ , in die Berechnung eingeht und auch nur zur Tragfähigkeit beiträgt. Hierbei wird nur auf das Minimum im ersten Calcinatorabschnitt abgezielt, da auch an diesem Punkt die Tragfähigkeit ausreichend sein muss. Eine Erhöhung der Froude-Zahl, beispielsweise durch Freisetzung von  $\text{CO}_2$  bei der Entsäuerung wird lokal zu höheren Werten führen, wenn man von einer konstanten Geometrie innerhalb des ersten Calcinatorabschnitts ausgeht.

**[0018]** In einer weiteren alternativen Ausführungsform wird das Verfahren in einer Vorrichtung mit einem Calcinator mit einem senkrechten ersten Calcinatorabschnitt durchgeführt wird, wobei während des Betriebes der Gasstrom durch den ersten Calcinatorabschnitt und den zweiten Calcinatorabschnitt geführt wird. Die Froude-Zahl wird im ersten Calcinatorabschnitt größer als 2, bevorzugt größer als 4, gewählt. Weiter wird die Froude-Zahl im ersten Calcinatorabschnitt kleiner als 20, bevorzugt kleiner als 10, gewählt. Hierbei wird der erste Calcinatorabschnitt in einem Bereich betrieben, in dem die Tragfähigkeit des Gasstromes sehr viel höher ist, als für die Menge des aufgetragenen Feststoffes in Form des Eduktes notwendig. Beispielsweise entstehen dadurch Strömungsgeschwindigkeiten von  $15 \text{ m/s}$  bis  $20 \text{ m/s}$ . Durch diese sehr hohen Geschwindigkeiten wird das Edukt sehr schnell und vollständig vom Gasstrom aufgenommen. Selbst für beispielsweise im Vorwärmer teilweise agglomerierte und daher größere, schwerere Eduktpartikel ist dadurch die Tragfähigkeit im Gasstrom gegeben. Es kann somit verhindert werden, dass Edukt sich am unteren Ende des ersten Calcinatorabschnitts absetzt.

**[0019]** In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird im zweiten Calcinatorabschnitt Edukt an wenigstens zwei Positionen über eine erste zweite Eduktzuführung und eine zweite zweite Eduktzuführung zugeführt. Dieses erfolgt entlang der Strömungsrichtung zueinander beabstandet. Hierdurch wird eine Vergleichmäßigung der Reaktion und

damit des Energieverbrauchs und damit der Temperatur erreicht.

**[0020]** In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird im zweiten Calcinatorabschnitt ein fester Brennstoff zugeführt und verbrannt. Beispielsweise und bevorzugt kann ein Ersatzbrennstoff über die zweite Brennstoffzufuhr zugeführt werden. Beispiele für Ersatzbrennstoffe sind Abfälle aus Haushalten, Industrie oder Gewerbe, Altreifen, Klärschlamm und Biomasse. Der Heizwert von Ersatzbrennstoffen kann sehr unterschiedlich sein. Ersatzbrennstoffe können daher auch als Mischung unterschiedlicher Fraktionen eingebracht werden, um einen gewissen Brennwert zu erreichen. Da die Fraktionen mit einem geringeren Brennwert meist günstiger sind, wird hierdurch auch eine Kostenoptimierung erreicht. Durch die Schrägung des zweiten Calcinatorabschnittes ist es möglich, somit auch nicht flugfähige Ersatzbrennstoff direkt in einem Calcinator in unmittelbarer Nähe zur chemischen Reaktion des Edukts zum Produkt zu verbrennen und die Energie damit ortsnah zu deren Umsetzung bereit zu stellen. Um bestimmte Ersatzbrennstoffe besser verbrennen zu können, kann die untere Seite des zweiten Calcinatorabschnittes stufenförmig ausgebildet sein oder die untere Seite des zweiten Calcinatorabschnittes kann mittels eines Vor- oder Rückschubrost gefördert werden, wobei auch ein Vor- oder Rückschubrost stufenförmig ausgebildet sein kann.

**[0021]** In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird im zweiten Calcinatorabschnitt ein fester Brennstoff mit einer Stückgröße von wenigstens 90 % der Masse des Brennstoffes von mehr als 50 mm, bevorzugt mehr als 70 mm, besonders bevorzugt von 100 mm, zugeführt.

**[0022]** In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird im ersten Calcinatorabschnitt ein flugfähiger Brennstoff zugeführt. Außerdem wird im ersten Calcinatorabschnitt über eine erste Eduktzuführung Edukt zugeführt. Bevorzugt werden Brennstoff und Edukt räumlich zueinander benachbart zugeführt, um Energieerzeugung und Energieverbrauch räumlich miteinander zu verbinden.

**[0023]** Im Folgenden wird auf Vorrichtungen eingegangen, auf denen das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt werden kann. Die Vorrichtung dient zur thermischen Behandlung eines mineralischen Edukts. Bevorzugt handelt es sich um eine Vorrichtung zur Herstellung von Zementklinker. Es kann die Vorrichtung aber auch für die thermische Behandlung von Tonen oder beispielsweise von Lithium-Erzen genutzt werden. Im Folgenden wird die Herstellung von Zementklinker als Beispiel verwendet. Die Vorrichtung weist einen Calcinator auf. Üblicherweise weist die Vorrichtung weiter einen Drehofen auf. Dieser liegt bezüglich des Materialstroms

(Edukt zu Produkt) hinter dem Calcinator und bezüglich des Gasstromes vor dem Calcinator. Der Drehofen kann aber auch bei anderen thermischen Behandlungen entfallen und sich beispielsweise ein Kühler direkt an den Calcinator anschließen. Üblicherweise weist die Vorrichtung weiter einen Vorwärmer auf. Der Vorwärmer liegt bezüglich des Materialstroms (Edukt zu Produkt) vor dem Calcinator und bezüglich des Gasstromes hinter dem Calcinator. Der Vorwärmer besteht beispielsweise aus einigen in Reihe geschalteten Gleichstromwärmetauschern mit nachgelagerten Abscheidezyklonen. Der Calcinator weist wenigstens einen ersten Calcinatorabschnitt und einen zweiten Calcinatorabschnitt auf. Der erste Calcinatorabschnitt ist senkrecht angeordnet und der zweite Calcinatorabschnitt ist schräg angeordnet. Schräg bedeutet, dass der Gasstrom durch den zweiten Calcinatorabschnitt nicht parallel zur Erdoberfläche noch im 90 ° Winkel zur Erdoberfläche strömt. Der zweite Calcinatorabschnitt weist einen Winkel  $\alpha$  zwischen der Horizontalen und der Strömungsrichtung des zweiten Calcinatorabschnittes auf. Die Horizontale ist parallel zur Erdoberfläche. Der Winkel  $\alpha$  liegt zwischen 20 ° und 80 °. Der erste Calcinatorabschnitt weist einen ersten hydraulischen Durchmesser  $d_{h,1}$  auf und der zweite Calcinatorabschnitt weist einen zweiten hydraulischen Durchmesser  $d_{h,2}$  auf. Der zweite hydraulische Durchmesser  $d_{h,2}$  ist kleiner oder gleich dem ersten hydraulischen Durchmesser  $d_{h,1}$  multipliziert mit dem Sinus des Winkels  $\alpha$ .

$$d_{h,2} \leq d_{h,1} \cdot \sin(\alpha)$$

**[0024]** Der hydrodynamische Durchmesser  $d_h$  ist das Vierfache des Quotienten aus der durchströmten Fläche  $A$  quer zur Strömungsrichtung geteilt durch den durchströmten Umfang  $P$ .

$$d_h = 4 \cdot \frac{A}{P}$$

**[0025]** Betrachtet man einen rohrförmigen vollständig von Gas durchströmten Körper, beispielsweise einen rohrförmigen ersten Calcinatorabschnitt mit dem Radius  $r$ , so ist die durchströmte Fläche  $A_{\text{Rohr}}$  gleich dem kreisförmigen Querschnitt  $A_{\text{Rohr}} = \pi \cdot r^2$  und der durchströmte Umfang  $P_{\text{Rohr}}$  gleich dem Kreisumfang  $P_{\text{Rohr}} = 2 \cdot \pi \cdot r$ . Somit ist der hydrodynamische Durchmesser eines Rohres  $d_{h,\text{Rohr}} = 2 \cdot r$  und damit der Durchmesser des Rohres. Für andere Geometrien ergibt sich analog eine charakteristische Länge.

**[0026]** Bei der Betrachtung des zweiten hydraulischen Durchmesser  $d_{h,2}$  ist darauf zu achten, dass bei der vorgesehenen Verwendung eines festen Brennstoffes dieser ein festes Bett innerhalb des zweiten Calcinatorabschnittes ergibt, was wiederum dazu führt, dass bei regulärem Betrieb nicht die

gesamte Querschnittsfläche des zweiten Calcinatorabschnitts dem Gasstrom zur Verfügung steht, sondern nur der um das Bett des festen Brennstoffs verminderte Querschnitt. Unter festem Bett sind im Sinne der Erfindung alle Arten von Schichten aus festem Material zu verstehen, umfassend Haufwerk oder Schüttschichten.

**[0027]** Ebenso ist der durchströmte Umfang P nicht der Umfang des zweiten Calcinatorabschnitts, sondern der durch das Bett des Brennstoffes und den oberen Teil des zweiten Calcinatorabschnitts vom Gasstrom durchströmte Umfang P. Wird jedoch ein flüssiger Brennstoff verwendet, beispielsweise hochviskose Ölrückstände, so kann dessen Schichtdicke unter Umständen vernachlässigbar sein, sodass in diesem Fall auf die Geometrie des zweiten Calcinatorabschnitts in ausreichender Näherung herangezogen werden kann.

**[0028]** Der Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist, dass durch die Anpassung des Querschnittes in Abhängigkeit des Winkels  $\alpha$  des zweiten Calcinatorabschnittes die Strömungsgeschwindigkeit entlang der Strömungsrichtung so erhöht wird, dass die Geschwindigkeitskomponente in z-Richtung, also senkrecht zur Erdoberfläche wenigstens gleich groß mit der Strömungsgeschwindigkeit im senkrechten ersten Calcinatorabschnitt ist. Damit ist die Tragfähigkeit des Gasstromes für das Edukt in beiden Calcinatorabschnitten wenigstens gleich groß und ein Abscheiden des Edukts aus dem Gasstrom kann vermieden werden.

**[0029]** In einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung sind der erste Calcinatorabschnitt und der zweite Calcinatorabschnitt dazu ausgebildet, von einem Gasstrom von unten nach oben durchströmt zu werden.

**[0030]** In einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung ist der erste Calcinatorabschnitt unterhalb des zweiten Calcinatorabschnitts angeordnet. Bevorzugt ist der erste Calcinatorabschnitt direkt angrenzend an den zweiten Calcinatorabschnitt angeordnet.

**[0031]** In einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung weist die Vorrichtung einen dritten Calcinatorabschnitt auf. Der dritte Calcinatorabschnitt ist senkrecht angeordnet. Der dritte Calcinatorabschnitt ist oberhalb des zweiten Calcinatorabschnittes angeordnet. Bevorzugt ist der zweite Calcinatorabschnitt direkt angrenzend an den dritten Calcinatorabschnitt angeordnet.

**[0032]** In einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung weist der zweite Calcinatorabschnitt eine erste zweite Eduktzuführung auf. Die erste zweite Eduktzuführung ist in den unteren 20 % des zweiten

Calcinatorabschnitts angeordnet ist, also am Eintritt des Gasstromes. Die erste zweite Eduktzuführung führt das Edukt von oben in den Gasstrom des zweiten Calcinatorabschnitts oder seitlich in den Gasstrom des zweiten Calcinatorabschnitts zu. Edukt für den Calcinator ist insbesondere das in einem Vorwärmer vorgewärmte thermisch zu behandelnde Material, beispielsweise und vorzugsweise ein Mehl zur Klinkerherstellung. Dieses soll auch umfassen, dass die erste zweite Eduktzuführung im ersten Calcinatorabschnitt unmittelbar vor dem zweiten Calcinatorabschnitt angeordnet ist.

**[0033]** Üblicherweise weist auch der erste Calcinatorabschnitt wenigstens eine erste Eduktzuführung auf. Das Edukt wird dem Calcinator üblicherweise und bevorzugt somit in Teilportionen zugeführt, um eine räumliche Verteilung der Decarbonatisierung über den gesamten Calcinator zu verteilen und so auch eine Verteilung des Energieverbrauchs über den Calcinator zu erzielen. Bei flugfähigen Brennstoffen erfolgt dieses räumlich benachbart. Somit wird über die erste Eduktzuführung eine erste Teilmenge Edukt zugeführt und über die zweite Eduktzuführung eine zweite Teilmenge.

**[0034]** Entsprechend kann in einem dritten Calcinatorabschnitt vorzugsweise wenigstens eine dritte Eduktzuführung angeordnet sein.

**[0035]** In einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung weist der zweite Calcinatorabschnitt zusätzlich eine zweite Eduktzuführung auf. Die zweite Eduktzuführung ist im mittleren Bereich des zweiten Calcinatorabschnitts angeordnet, wobei die zweite Eduktzuführung Edukt von oben in den Gasstrom des zweiten Calcinatorabschnitts oder seitlich in den Gasstrom des zweiten Calcinatorabschnitts zuführt. Hierdurch wird das Edukt räumlich verteilt zugeführt, was auch dazu führt, dass der Energieverbrauch durch die Decarbonatisierung räumlich verteilt erfolgt und somit eine Vergleichmäßigung der Temperatur und damit der Reaktionsbedingungen erfolgt. Selbstverständlich kann der zweite Calcinatorabschnitt auch weitere zweite Eduktzuführungen aufweisen, um eine weitere Vergleichmäßigung zu erreichen. Bevorzugt erfolgt die Zuführung des Edukts über die erste zweite Eduktzuführung in konstanter Weise, die zweite Eduktzuführung wird variabel verwendet, um insbesondere die zugeführte Menge an Edukt an die üblicherweise schwankende freigesetzte Energiemenge eines Ersatzbrennstoffes dynamisch anzupassen. Hierzu würde bei einem Ersatzbrennstoff mit geringerem Brennwert weniger Edukt über die zweite Eduktzuführung zugeführt werden und bei einem Ersatzbrennstoff mit höherem Brennwert mehr Edukt über die zweite Eduktzuführung zugeführt werden.

**[0036]** In einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung weist der zweite Calcinatorabschnitt zusätzlich eine dritte zweite Eduktzuführung auf. Die dritte zweite Eduktzuführung ist in den oberen 20 % des zweiten Calcinatorabschnitts angeordnet, wobei die dritte zweite Eduktzuführung Edukt von oben in den Gasstrom des zweiten Calcinatorabschnitts oder seitlich in den Gasstrom des zweiten Calcinatorabschnitts zuführt. Hierdurch wird das Edukt räumlich verteilter zugeführt, was auch dazu führt, dass der Energieverbrauch durch die Decarbonisierung räumlich verteilter erfolgt und somit eine Vergleichmäßigung der Temperatur und damit der Reaktionsbedingungen erfolgt. Selbstverständlich kann der zweite Calcinatorabschnitt auch weitere zweite Eduktzuführungen aufweisen, um eine weitere Vergleichmäßigung zu erreichen.

**[0037]** In einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung ist am oberen Ende des zweiten Calcinatorabschnitts eine zweite Brennstoffzufuhr für einen festen Brennstoff angeordnet. Beispielsweise und bevorzugt kann ein Ersatzbrennstoff über die zweite Brennstoffzufuhr zugeführt werden. Beispiele für Ersatzbrennstoffe sind Abfälle aus Haushalten, Industrie oder Gewerbe, Altreifen, Klärschlamm und Biomasse. Der Heizwert von Ersatzbrennstoffen kann sehr unterschiedlich sein. Ersatzbrennstoffe können daher auch als Mischung unterschiedlicher Fraktionen eingebracht werden, um einen gewissen Brennwert zu erreichen. Da die Fraktionen mit einem geringeren Brennwert und größerer Größenverteilung meist günstiger sind, wird hierdurch auch eine Kostenoptimierung erreicht. Durch die Schrägung des zweiten Calcinatorabschnittes ist es möglich, somit auch nicht flugfähige Ersatzbrennstoff direkt in einem Calcinator in unmittelbarer Nähe zur chemischen Reaktion des Edukts zum Produkt zu verbrennen und die Energie damit ortsnah zu deren Umsetzung bereit zu stellen. Um bestimmte Ersatzbrennstoffe besser verbrennen zu können, kann die untere Seite des zweiten Calcinatorabschnitts stufenförmig ausgebildet sein oder die untere Seite des zweiten Calcinatorabschnitts kann einen Vor- oder Rückschubrost aufweisen, wobei auch ein Vor- oder Rückschubrost stufenförmig ausgebildet sein kann. Die untere Seite ist im Sinne der Erfindung der Boden, der Bereich, auf dem ein Feststoff durch die Schwerkraft entlangrutschen würde. Analog wäre die obere Seite und die seitlichen Seiten dann der Teil, der den Gasstrom nach oben beziehungsweise seitlich begrenzt.

**[0038]** In einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung weist der zweite Calcinatorabschnitt einen Winkel  $\alpha$  zwischen der Horizontalen und der Strömungsrichtung des zweiten Calcinatorabschnitts auf, wobei der Winkel  $\alpha$  zwischen  $30^\circ$  und  $70^\circ$ , bevorzugt zwischen  $35^\circ$  und  $60^\circ$ , weiter bevorzugt zwischen  $40^\circ$  und  $55^\circ$ , besonders bevorzugt zwi-

schen  $40^\circ$  und  $50^\circ$ , liegt. Hier ist ein Optimum zu wählen. Je steiler der zweite Calcinatorabschnitt ist, um so größer ist die Geschwindigkeitskomponente des Gasstromes in z-Richtung und um so leichter verbleiben die Partikel im Gasstrom. Auf der Gegenseite ist ein flacher Aufbau gerade für Ersatzbrennstoffe mit grober Größenverteilung und/oder hohem Feuchtigkeitsanteil vorteilhaft.

**[0039]** In einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung ist der zweite Calcinatorabschnitt unterhalb des ersten Calcinatorabschnitts angeordnet und parallel zum zweiten Calcinatorabschnitt ist ein regelbarer Bypass angeordnet. Beispielsweise kann auch das untere Ende des zweiten Calcinatorabschnitts in einer Flucht mit dem ersten Calcinatorabschnitt liegen. In diesem Fall sind das obere Ende des zweiten Calcinatorabschnitts und das untere Ende des ersten Calcinatorabschnitts beispielsweise durch ein Verbindungsstück miteinander verbunden, wobei der regelbare Bypass dann direkt senkrecht unter dem ersten Calcinatorabschnitt angeordnet ist.

**[0040]** Nachfolgend ist das erfindungsgemäße Verfahren anhand einer in den Zeichnungen dargestellten Vorrichtung näher erläutert.

**Fig. 1** Vorrichtung zur thermischen Behandlung eines mineralischen Edukts

**Fig. 2** Calcinator

**[0041]** Alle Darstellungen sind rein schematisch, nicht maßstabsgerecht und dienen nur zur Verdeutlichung der Erfindungsmerkmale.

**[0042]** In **Fig. 1** ist eine Vorrichtung zur thermischen Behandlung eines mineralischen Edukts, beispielsweise einer Anlage zur Herstellung von Zementklinker. Die Anlage weist einen Vorwärmer 100, einen Calcinator 110, einen Drehrohrofen 120 und einen Kühler 130 auf. Das Material, beispielsweise Rohmehl aus Kalkstein, wird oben aufgegeben, durchläuft die Anlage in der genannten Reihenfolge und kann dem Kühler 130 als Klinker entnommen werden. Der Gasstrom wird entgegen dem Materialstrom vom Drehrohrofen 120 in den Calcinator 110 geleitet und von dort in den Vorwärmer 100.

**[0043]** Daher tritt in den in **Fig. 2** gezeigten Calcinator 110 der Gasstrom von unten aus dem Drehrohrofen 120 kommend ein und strömt nach oben. Der Calcinator 110 weist jeweils am oberen Ende wenigstens einen in den Ausführungsbeispielen nicht gezeigten Zyklonabscheider auf.

**[0044]** **Fig. 2** zeigt einen ersten Calcinatorabschnitt 10, welcher senkrecht angeordnet ist, darüber einen zweiten Calcinatorabschnitt 20, welcher schräg in einem Winkel von  $45^\circ$  angeordnet ist und darüber einen dritten Calcinatorabschnitt 30, welcher senk-

recht angeordnet ist. Der erste Calcinatorabschnitt 10 weist eine erste Brennstoffzufuhr 12 für einen flugfähigen Brennstoff, beispielsweise Kohlenstaub, sowie eine erste erste Eduktzuführung 14 auf, über welche Edukt aus dem Vorwärmer 100 zugeführt wird. Durch die Verbrennung des Brennstoffes im ersten Calcinatorabschnitt 10 entsteht Energie, welche für den Entsäuerungsprozess des Edukts verwendet wird, sodass CO<sub>2</sub> erzeugt wird. Im zweiten Calcinatorabschnitt 20 wird von oben über die zweite Brennstoffzufuhr 22 ein fester Brennstoff, beispielsweise über eine Schnecke, zugeführt, der dann auf der schrägen Fläche des zweiten Calcinatorabschnitts 20 verbrennt. Verbrennungsreste, beispielsweise Metallbestandteile des Brennstoffs, fallen durch den ersten Calcinatorabschnitt 10 und können unter diesem dann entnommen werden. Der zweite Calcinatorabschnitt 20 weist weiter eine erste zweite Eduktzuführung 24 auf, über die ebenfalls Edukt aus dem Vorwärmer zugegeben werden kann. Oberhalb des zweiten Calcinatorabschnitts 20 ist ein dritter Calcinatorabschnitt 30 angeordnet, welcher eine dritte Brennstoffzufuhr 32 und eine erste dritte Eduktzuführung 34 aufweist.

20	zweiter Calcinatorabschnitt
22	zweite Brennstoffzufuhr
24	erste zweite Eduktzuführung
30	dritter Calcinatorabschnitt
32	dritte Brennstoffzufuhr
34	erste dritte Eduktzuführung
100	Vorwärmer
110	Calcinator
120	Drehrohrofen
130	Kühler

**[0045]** Der in **Fig. 2** gezeigte Calcinator wird so betrieben, dass die Froude-Zahl im zweiten Calcinatorabschnitt (20) 3 beträgt.

$$Fr = 3 = \frac{v \cdot \sin(\alpha)}{\sqrt{g \cdot 4 \cdot \frac{A}{P}}}$$

**[0046]** Da durchströmte Fläche A und durchströmter Umfang P sowie Winkel  $\alpha$  bei einer gegebenen Anlage bekannt und definiert sind, ergibt sich hiermit für den Betrieb der Vorrichtung die einstellende Strömungsgeschwindigkeit zu:

$$v = \frac{3 \cdot \sqrt{g \cdot 4 \cdot \frac{A}{P}}}{\sin(\alpha)}$$

**[0047]** Alternativ kann zur Auslegung einer neuen Anlage oder der Integration eines schrägen Calcinator in eine bestehende Anlage die Größenverhältnisse des Querschnitts des zweiten Calcinatorabschnitts bei einer vorgegebenen Strömungsgeschwindigkeit ermittelt werden über:

$$\frac{A}{P} = \frac{v^2 \cdot (\sin(\alpha))^2}{36 \cdot g}$$

Bezugszeichenliste

10	erster Calcinatorabschnitt
12	erste Brennstoffzufuhr
14	erste erste Eduktzuführung

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102018206673 A1 [0005]
- DE 102018206674 A1 [0006]

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Vorrichtung zur thermischen Behandlung eines mineralischen Edukts, wobei das Verfahren in einer Vorrichtung mit einem Calcinator (110) mit einem schrägen zweiten Calcinatorabschnitt (20) durchgeführt wird, wobei während des Betriebes ein Gasstrom durch den zweiten Calcinatorabschnitt (20) geführt wird, wobei die Vorrichtung so betrieben wird, dass die Froude-Zahl, welche die Geschwindigkeitskomponente des Gasstroms in vertikaler Richtung dividiert durch die Wurzel aus dem Produkt der Erdbeschleunigung  $g$  mit dem hydraulischen Durchmesser ist, wobei der hydraulische Durchmesser des vierfachen des Quotienten aus dem durchströmten Fläche quer zur Strömungsrichtung geteilt durch den durchströmten Umfang ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Froude-Zahl im zweiten Calcinatorabschnitt (20) größer als 0,7, bevorzugt größer als 2, gewählt wird, wobei die Froude-Zahl im zweiten Calcinatorabschnitt (20) kleiner als 9, bevorzugt kleiner als 4, gewählt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Calcinator (110) mit einer Atmosphäre mit weniger als 25 % Stickstoff, bevorzugt mit weniger als 15% Stickstoff, weiter bevorzugt mit weniger als 10 % Stickstoff, besonders bevorzugt mit weniger als 5 % Stickstoff betrieben wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren in einer Vorrichtung mit einem Calcinator (110) mit einem senkrechten ersten Calcinatorabschnitt (10) durchgeführt wird, wobei während des Betriebes der Gasstrom durch den ersten Calcinatorabschnitt (10) und den zweiten Calcinatorabschnitt (20) geführt wird, wobei die Froude-Zahl im ersten Calcinatorabschnitt (10) größer als 2, bevorzugt größer als 4, gewählt wird, wobei die Froude-Zahl im ersten Calcinatorabschnitt (10) kleiner als 20, bevorzugt kleiner als 10, gewählt wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im zweiten Calcinatorabschnitt (20) Edukt an wenigstens zwei Positionen über eine erste zweite Eduktzuführung (24) und eine zweite zweite Eduktzuführung (26), welche entlang der Strömungsrichtung zueinander beabstandet sind, zugeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im zweiten Calcinatorabschnitt (20) ein fester Brennstoff mit einer Stückgröße von wenigstens 90 % der Masse des Brennstoffes von mehr als 50 mm, bevorzugt mehr als 70 mm, besonders bevorzugt von 100 mm, zugeführt wird.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im ersten Calcinatorabschnitt (10) ein flugfähiger Brennstoff zugeführt wird, wobei im ersten Calcinatorabschnitt (10) über eine erste erste Eduktzuführung (14) Edukt zugeführt wird.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

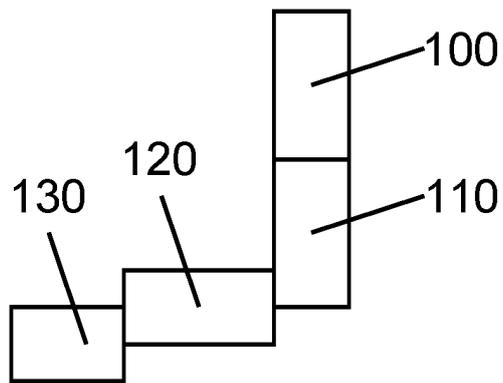


Fig. 1

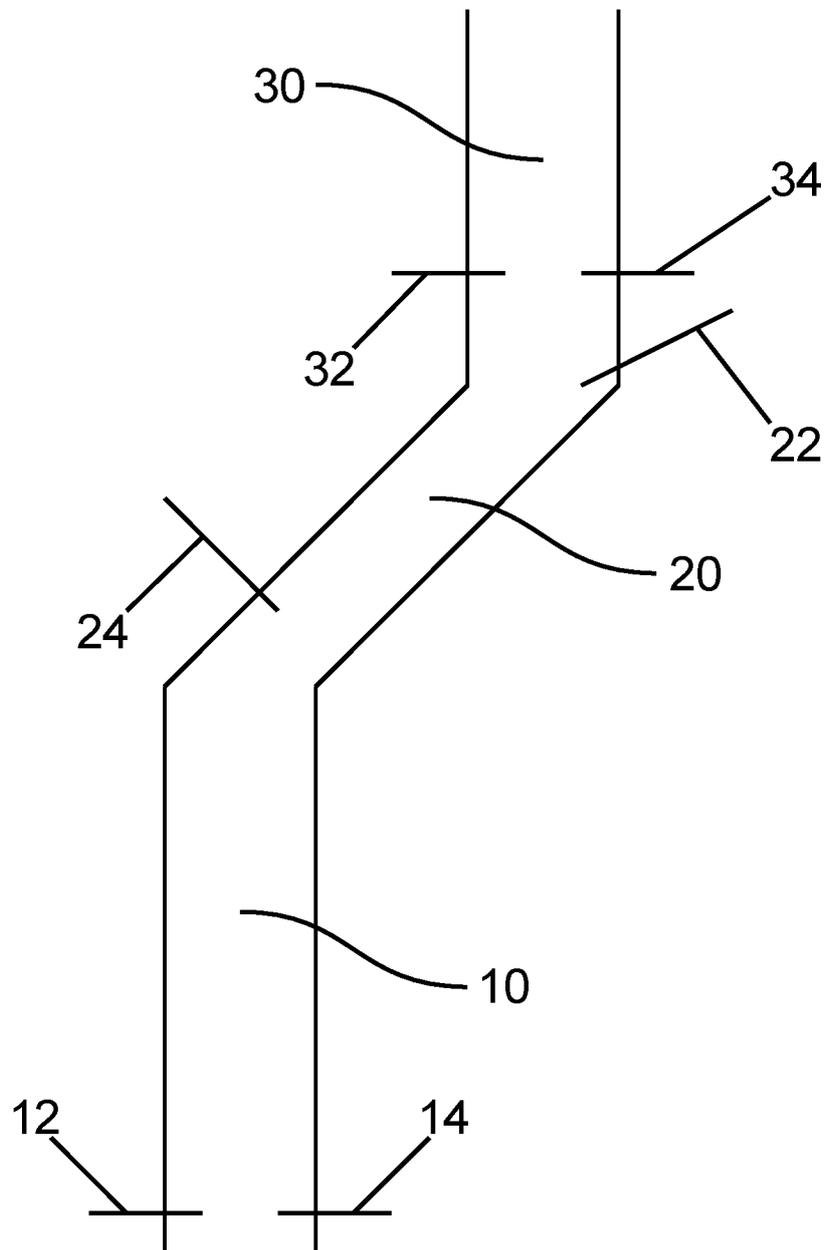


Fig. 2