

19



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

11

N° de publication :

LU503625

12

BREVET D'INVENTION**B1**

21

N° de dépôt: LU503625

51

Int. Cl.:
C04B 20/02

22

Date de dépôt: 13/03/2023

30

Priorité:

72

Inventeur(s):

43

Date de mise à disposition du public: 13/09/2024

WILCZEK Michael – Deutschland, DR. MAIER Oliver –
Deutschland, DR. LAMPE Karl – Deutschland, DR.
RUDOWSKI Luc – Frankreich, DR. RER. NAT. MÖLLER
Hendrik – Deutschland, DR. HAMM Andreas –
Deutschland, NEUMANN Thomas – Deutschland,
HINDER Daniel – Deutschland, DR. FYLAK Marc –
Deutschland, SACHSE Carsten – Deutschland,
STROTMANN Jan – Deutschland, WILLMS Eike –
Deutschland

47

Date de délivrance: 13/09/2024

73

Titulaire(s):

THYSSENKRUPP AG – 45143 Essen (Deutschland),
SCHWENK ZEMENT GMBH & CO. KG – 89077
Ulm (Deutschland), CELITEMENT GMBH & CO. KG –
76344 Eggenstein-Leopoldshafen (Deutschland),
THYSSENKRUPP INDUSTRIAL SOLUTIONS AG –
45143 Essen (Deutschland)

74

Mandataire(s):

MICHAEL TETZNER, TETZNER & PARTNER MBB –
81479 München (Deutschland)

54

Mechanische Aktivierung von Tonen.

57

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur mechanischen Aktivierung von mineralischem Material, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist: a) Trocknen und Grobzerkleinern des mineralischen Materials, b) Überführen des mineralischen Materials in einer ersten Feinstmühle 40, c) Mahlen des mineralischen Materials in der ersten Feinstmühle 40, d) Entnehmen des mineralischen Materials aus der ersten Feinstmühle 40, e) Überführen des mineralischen Materials in einer zweiten Feinstmühle 70, f) Mechanisches Aktivieren des mineralischen Materials in der zweiten Feinstmühle 70, g) Entnehmen des aktivierten mineralischen Materials aus der zweiten Feinstmühle 70.

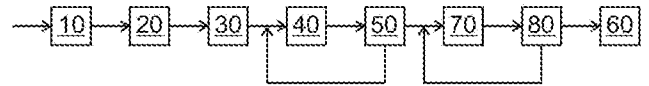


Fig. 1

Mechanische Aktivierung von Tonen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur mechanischen Aktivierung von Tonen.

5 Insbesondere im Bereich der Zementindustrie haben sich aktivierte Tone als Zusatzstoff etabliert. Der derzeit übliche Weg ist die Trocknung und Calcinierung der Tone, also eine thermische Aktivierung. Hierbei wird zum einen Energie für die Erwärmung benötigt, zum anderen kann die hohe Temperatur auch weitere Stoffveränderungen bewirken, die gegebenenfalls unerwünscht sind. Ferner erfordert der thermische Prozess eine
10 Rauchgasreinigung zur Abscheidung der entstehenden Stickoxid- und Schwefeloxid-Emissionen. Außerdem erfordert der thermische Prozess künftig den Einsatz von Verfahren zur Abscheidung und gegebenenfalls Reinigung des erzeugten beziehungsweise freigesetzten Kohlendioxids.

15 Aus der WO 2017 / 008 863 A1 ist ein Verfahren und eine Anlagenanordnung zum Aufbereiten und Aktivieren eines Rohstoffes bekannt.

Aus der EP 3 909 682 A1 ist ein Verfahren und eine Wälzmühle zum thermomechanischen Aktivieren eines Tongemisches bekannt.

20 Aus der DE 10 2015 106 109 A1 ist ein Verfahren zur tribo-chemischen Aktivierung von Bindemitteln und Zusatzstoffen bekannt.

Da es sich bei Tonen um ein komplexes System handelt (insbesondere im Vergleich zum
25 Brennen von Kalkstein) führen unterschiedliche Aktivierungsverfahren zu unterschiedlichen Produkten (aktivierten Tonen) mit unterschiedlichen Eigenschaften. Ebenso führt die Unterschiedlichkeit der verwendbaren Tone dazu, dass nicht jedes Verfahren für jeden Ton verwendbar ist.

30 Aufgabe der Erfindung ist es, ein alternatives Aktivierungsverfahren bereitzustellen, um andere Tonqualitäten einsetzen zu können als sie derzeit als geeignet für eine Kalzinierung von Ton angesehen werden oder andere Produkteigenschaften erzielen zu können. Insbesondere soll eine Erweiterung der möglichen Rohmaterialbasis auf insbesondere muskovitische, illitische oder chloritische Tone möglich sein.

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

5

Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur mechanischen Aktivierung von mineralischem Material. Das Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

- a) Trocknen und Grobzerkleinern des mineralischen Materials,
- b) Überführen des mineralischen Materials in eine erste Feinstmühle,
- 10 c) Mahlen des mineralischen Materials in der ersten Feinstmühle,
- d) Entnehmen des mineralischen Materials aus der ersten Feinstmühle,
- e) Überführen des mineralischen Materials in eine zweite Feinstmühle,
- f) Mechanisches Aktivieren des mineralischen Materials in der zweiten Feinstmühle,
- 15 g) Entnehmen des aktivierten mineralischen Materials aus der zweiten Feinstmühle.

In Schritt a) erfolgt zunächst ein erstes Trocknen und Grobzerkleinern. Hierbei kann die Reihenfolge von Trocknen und Grobzerkleinern beliebig sein, diese können auch (partiell) gleichzeitig erfolgen. Dieses ist dem Fachmann aus dem Stand der Technik gut
20 bekannt. Feinstmühlen, also Mühlen, welche eine besonders geringe Partikelgröße erzeugen können, können meist mit zu grobem Material nicht betrieben werden. Zum anderen sind Feinstmühlen auf die Feinstvermahlung optimiert und daher für eine Grobzerkleinerung ungeeignet und unwirtschaftlich. Daher ist es üblich und sinnvoll, eine Grobzerkleinerung vor der Zuführung zu einer Feinstmühle durchzuführen. Des Weiteren
25 ist eine Hauptanwendung die Aktivierung von Tonen, aber auch beispielsweise von auf Halden gelagerten Schlacken. Daher weisen die Edukte meistens eine zu hohe Ausgangsfeuchte auf, sodass eine Trocknung notwendig ist. Beides ist auch vor einer konventionellen thermischen Aktivierung üblich und kann in analoger Weise erfolgen.

30 Der wesentliche Punkt ist, dass das aktivierte mineralische Material eben direkt der zweiten Feinstmühle entnommen wird und sich somit eben nicht erst ein thermischer Aktivierungsschritt anschließt. Die Aktivierung erfolgt also somit bereits vollständig in der zweiten Feinstmühle. Die Aktivierung erfolgt also in dem Schritt f) und somit während des Mahlvorgangs.

Die erste Feinstmühle in Schritt c) wird somit in der Art betrieben, wie dieses üblich ist. Es wird also das Mahlgut so lange gemahlen (und mit so viel Energie beaufschlagt), um zur minimalen Partikelgröße zu kommen. Es erfolgt also ein reiner klassischer
5 Mahlvorgang.

Der Betrieb der zweiten Feinstmühle in Schritt f) unterscheidet sich hiervon grundlegend. Hier wird das Mahlgut praktisch mit der geringsten zu erreichenden Partikelgröße der zweiten Feinstmühle zugeführt. Beim Vermahlen eines Materials stellt man in
10 Abhängigkeit vom Energieeintrag drei Stadien fest. Im ersten Stadium sinkt die Partikelgröße (mehr oder weniger linear) zum Energieeintrag. Vereinfacht ausgedrückt, je mehr man mahlt, um so feiner wird das Produkt. Dieses ist der Betriebsbereich der ersten Feinstmühle (Rittinger-Zone). Hierfür gibt es jedoch eine Grenze, eine Partikelgröße, die kaum mehr zu unterschreiten ist. Ab diesem Punkt kommt eine zweite
15 Stufe, bei der sich die Partikelgröße mit weiterem Energieeintrag nicht verändern lässt (Aggregations-Zone). Aus wirtschaftlichen Gründen vermeidet man daher den Übergang von der ersten Stufe zur zweiten Stufe, da für mehr Aufwand eben kein weiterer Effekt zu verzeichnen ist. Wird die Energiezufuhr noch weiter erhöht, so kann eine dritte Stufe erreicht werden, bei der sogar wieder ein Anstieg der Partikelgröße feststellbar ist
20 (Agglomerations-Zone). Dieser Bereich wird bei einer Vermahlung daher noch viel eher vermieden, da mit weniger Aufwand ein besseres Ergebnis zu erzielen ist. Erfindungsgemäß wird aber die zweite Feinstmühle gerade ausschließlich in diesem Bereich betrieben, welcher normalerweise ausdrücklich vermeiden wird. Es hat sich gezeigt, dass dadurch eine Aktivierung direkt in der zweiten Feinstmühle möglich ist, da
25 bei hohen Energieeinträgen, also in der dritten Stufe, es zu Veränderungen des Materials selbst kommt, die beispielsweise bei Tonen, ebenso wie eine thermische Aktivierung, zu einer Aktivierung führt, also zu einer Reaktivität, die die Verwendung als Bindemittel (und damit als Klinkerersatz) ermöglicht. Daher kann bei derart hohen Energieeinträgen auf eine anschließende thermische Behandlung verzichtet werden.

30 Hierbei hat sich jedoch herausgestellt, dass der Energiebedarf für eine reine mechanische Aktivierung höher ist, als für eine thermische Aktivierung. Daher erscheint das erfindungsgemäße Verfahren zunächst gegenüber der konventionellen thermischen Aktivierung nachteilig. Es hat sich jedoch gezeigt, dass das erfindungsgemäße

Verfahren, trotz des vergleichsweise hohen Energiebedarfs vorteilhaft, insbesondere für die Aktivierung von Tonen ist. Gerade bei komplexen Ausgangsstoffen, wie zum Beispiel Tonen kommt es bei einer thermischen Aktivierung regelmäßig zu mehreren negativen Effekten. Zum einen ist bekannt, dass beispielsweise aus Tonen bei erhöhter Temperatur

5 Stoffe gasförmig austreten können, die eine aufwändigere Abgasreinigung erfordern. Durch den Verzicht auf höhere Temperaturen kann dieses vermieden werden. Zum anderen werden bei erhöhter Temperatur der Aktivierung oftmals farbgebende Komponenten, beispielsweise Eisenverbindungen oxidiert, was im Falle von hohen Eisengehalten zu einer ungewünschten Rotfärbung des Produkts führt. Um dieses zu

10 vermeiden ist entweder eine Schutzgasatmosphäre oder eine anschließende Reduktion notwendig, was beides aufwändig ist. Somit wird zwar für das erfindungsgemäße Verfahren für den eigentlichen Aktivierungsschritt der Energiebedarf erhöht, es vereinfacht sich aber die Abgasbehandlung und eine anschließende Reduzierung kann vermieden werden. So kann der gesamte Vorgang der Aktivierung zur Herstellung eines

15 marktfähigen Bindemittels effizient vereinfacht werden. Des Weiteren weisen unterschiedliche Tonminerale unterschiedliche optimale Aktivierungstemperaturen auf. So werden beispielsweise Minerale der Kaolin- und der Chloritgruppe bei deutlich niedrigeren Temperaturen aktiviert als zum Beispiel Minerale der Glimmergruppe (Muskovit, Illit und andere) Wählt man bei Tonen, die Minerale dieser Gruppen enthalten,

20 für die thermische Aktivierung die optimale Aktivierungstemperatur von Kaolinit, so werden Minerale wie Muskovit und Illit noch nicht aktiviert. Wählt man hingegen für die thermische Aktivierung die deutlich höhere Aktivierungstemperatur von Muskovit und Illit, so kommt es aufgrund der Bildung neuer Mineralphasen, insbesondere Spinelle, zum Überbrennen des Kaolinit, was eine Deaktivierung zur Folge hat. Diese Differenzierung

25 der Tonminerale bezüglich der optimalen Aktivierungstemperatur entfällt hingegen bei der mechanischen Aktivierung.

Es können hierbei beispielsweise und bevorzugt auch zwei oder mehr zweite Feinstmühlen parallel betrieben werden und so eine notwendige längere Verweilzeit in

30 der zweiten Feinstmühle kompensiert werden.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das Mahlen in Schritt f) mit einem Energieeintrag pro Mahlraumvolumen von wenigstens $100 \text{ kW} / \text{m}^3$, bevorzugt von wenigstens $200 \text{ kW} / \text{m}^3$, durchgeführt. Ein üblicher Wert für eine Kugelmühle als Beispiel

einer Feinstmühle liegt üblicherweise eher bei $20 \text{ kW} / \text{m}^3$ und somit deutlich niedriger (und energetisch günstiger). Hierbei ist als das Mahlraumvolumen das im Inneren der zweiten Feinstmühle zur Verfügung stehende Volumen zu verstehen, also das freie Volumen, wenn kein Material und beispielsweise auch keine Kugeln in der zweiten Feinstmühle sind. Zur Mühle gehörende Bauteile, zum Beispiel eine Welle, die im Inneren beispielsweise beweglich angeordnet ist, zählt somit nicht zum Mahlraumvolumen, da dieses Volumen eben nicht durch Material einnehmbar ist.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die zweite Feinstmühle kontinuierlich betrieben. Dieses bedeutet, dass sowohl gemäß Schritt e) mineralisches Material kontinuierlich in die zweite Feinstmühle eingetragen und gleichzeitig kontinuierlich gemäß Schritt g) aktiviertes mineralische Material entnommen wird. Bevorzugt wird die zweite Feinstmühle daher als Durchlaufmühle mit einer Eingangsseite und einer Ausgangsseite betrieben.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird zwischen Schritt d) und Schritt e) eine erste größenselektive Trennung in eine erste Grobfraction und eine erste Feinfraktion durchgeführt. Die erste Feinfraktion wird in Schritt e) überführt und die erste Grobfraction wird in Schritt b) zurückgeführt. Da die erste Feinstmühle in dem reinen Mahlbereich betrieben wird, macht es Sinn, nur die Feinfraktion in die zweite Feinstmühle zu überführen und so sicherzustellen, dass in der zweiten Feinstmühle eben keine Mahlarbeit mehr verrichtet werden muss und kann.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die erste größenselektive Trennung derart durchgeführt, dass die Größengrenze zwischen der ersten Grobfraction und der ersten Feinfraktion der mit der ersten Feinstmühle erreichbaren geringsten Partikelgröße mal einem Faktor von 2 entspricht. Je nach Mühle, Mahlkörper und zu mahlendem Material ist die minimal zu erreichende geringste Partikelgröße variabel, aber durch das oben beschriebene Verhältnis zwischen eingebrachter Energie und Partikelgröße eben nicht veränderbar. Wäre also beispielsweise für eine gegebene Kombination die geringste Partikelgröße $5 \mu\text{m}$, so würde als Größengrenze $10 \mu\text{m}$ gewählt werden.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird nach Schritt g) eine zweite größenselektive Trennung in eine zweite Grobfraction und eine zweite Feinfraction durchgeführt, wobei die zweite Grobfraction als Produkt entnommen wird, und die zweite Feinfraction in Schritt e) zurückgeführt und hier wiederum die zweite Grobfraction als
5 Produkt entnommen wird. Beispielsweise erfolgt die Trennung mittels eines Sichters. Hierbei wird die zweite Feinfraction zurückgeführt, da die Aktivierung mit einer Vergrößerung der Partikel verbunden ist. Dieses unterscheidet sich grundlegend von der normalen Trennung und Rückführung bei einer Mühle, bei der die Grobfraction normalerweise zurückgeführt wird.

10 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die zweite größenselektive Trennung derart durchgeführt, dass die Partikelgrößengrenze zwischen der zweiten Grobfraction und der zweiten Feinfraction der mit der zweiten Feinstmühle erreichbaren geringsten Partikelgröße mal einem Faktor von 2 entspricht.

15 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung sind die erste Feinstmühle und die zweite Feinstmühle ausgewählt aus der Gruppe umfassend Schwingmühle, Planetenkugelmühle und Rührwerkskugelmühle. Bevorzugt ist die erste Feinstmühle und die zweite Feinstmühle ausgewählt aus der Gruppe umfassend Planetenkugelmühle und
20 Rührwerkskugelmühle. Diese Mühlentypen haben sich für die mechanische Aktivierung als besonders geeignet herausgestellt, da mit diesen Mühlentypen besonders hohe Energiedichten erreichbar sind. Besonders bevorzugt sind die erste Feinstmühle und die zweite Feinstmühle eine Rührwerkskugelmühle.

25 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird als zweite Feinstmühle eine Rührwerkskugelmühle mit einem Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von 2,5 bis 5 ausgewählt.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die zweite Feinstmühle mit einem
30 Mahlkörper-Füllungsgrad von 50 Vol.-% bis 95 Vol.-%, bevorzugt von 60 Vol.-% bis 70 Vol.-%, gefüllt. Hierbei wird das Schüttvolumen der Mahlkörper auf das Mahlraumvolumen der zweiten Feinstmühle bezogen wird. Da bei einer einfachen Schüttung der Füllungsgrad um 64 % und bei einer dichtesten Kugelpackung nur um 74 % liegt, ergibt sich selbst bei einem theoretischen Mahlkörper-Füllungsgrad von

100 % ein entsprechender Freiraum, welcher beispielsweise von dem zu aktivierenden mineralischen Material eingenommen werden kann. Da der Füllungsgrad einer Mahlkörperschüttung aber sehr extrem von der Form und Gleichförmigkeit der Mahlkörper abhängt, ist es praktisch einfacher, hier den Mahlkörper-Füllungsgrad eben
5 auf das Schüttvolumen und nicht auf das eigentliche (gefüllte) Volumen zu beziehen.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden Mahlkörper aus Eisen oder einer Eisenlegierung oder aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung ausgewählt. Bevorzugt werden Mahlkörper aus Eisen oder einer Eisenlegierung ausgewählt.
10 Insbesondere werden Mahlkörper aus Stahl ausgewählt.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden keramische Mahlkörper ausgewählt.

15 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden Mahlkörper mit einem Durchmesser von 1 mm bis 10 mm ausgewählt.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die Rührwerkskugelmühle mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 2 m/s bis 6 m/s, bevorzugt von 3 m/s bis 5 m/s, besonders
20 bevorzugt von 3,5 m/s bis 4,5 m/s, betrieben.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die Rührwerkskugelmühle mit einem Gasvolumenstrom und einem Materialstrom betrieben. Das Verhältnis von Gasvolumenstrom zu Materialstrom wird derart eingestellt, dass das Verhältnis von
25 Gasvolumenstrom zu Materialstrom zwischen $0,0001 \text{ m}^3/\text{kg}$ und $5 \text{ m}^3/\text{kg}$, vorzugsweise zwischen $0,1 \text{ m}^3/\text{kg}$ und $2 \text{ m}^3/\text{kg}$ liegt.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt das Trocknen und Zerkleinern in Schritt a) auf eine Restfeuchte kleiner 1 Gew.-% und eine Korngröße kleiner 2 mm.
30

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das mineralische Material ausgewählt aus der Gruppe umfassend Ton, Asche, insbesondere Flugasche, Belitzementklinker, Altbetonfeinanteile, Schlacke, Schichtsilikate und Gerüstsilikate. Besonders bevorzugt wird als mineralisches Material Ton oder eine Mischung aus Ton

und einem weiteren Material oder mehreren weiteren Materialien ausgewählt aus der Gruppe umfassend Asche, insbesondere Flugasche, Belitzementklinker, Altbetonfeinanteile, Schlacke, Schichtsilikate und Gerüstsilikate.

- 5 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das mineralische Material zusammen mit 0,1-50 Gew.-% Quarz oder Korund mechanisch aktiviert.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird nach dem Entnehmen des aktivierten mineralischen Materials in Schritt g) das entnommene Material zur Ermittlung
10 der Aktivierung untersucht. Zur Untersuchung wird oder werden ein Verfahren oder mehrere Verfahren ausgewählt aus der Gruppe umfassend IR-Spektroskopie, RAMAN-Spektroskopie, Röntgenbeugungsanalyse, Wärmeflusskalorimetrie, Thermogravimetrie, Rasterelektronenmikroskopie, Partikelgrößen- und/oder Partikelformanalyse, NMR-Spektroskopie. Besonders bevorzugt wird zur Untersuchung ein Verfahren oder mehrere
15 Verfahren ausgewählt aus der Gruppe umfassend IR-Spektroskopie, RAMAN-Spektroskopie, Röntgenbeugungsanalyse, Wärmeflusskalorimetrie.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird als Gas für den Gasstrom durch die erste Feinstmühle und/oder die zweite Feinstmühle ein Gas ausgewählt und
20 verwendet, welches ein Gas oder mehrere Gase aufweist, das ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Stickstoff, Argon, Kohlendioxid, Wasserdampf, Kohlenmonoxid, Wasserstoff, Kohlenwasserstoff, insbesondere Methan, Ethan, Propan und Butan. Besonders bevorzugt weist das Gas hauptsächlich (mehr als 50 Vol.-%) Stickstoff, Kohlendioxid oder Wasserdampf auf. Besonders bevorzugt weist das Gas weniger als
25 1 Vol.-%, bevorzugt weniger als 0,1 Vol.-%, Sauerstoff auf.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das mineralische Material in Schritt c) und/oder Schritt f) mit einem flüssigen oder festen Reduktionsmittel vermahlen. Beispielsweise kann Kohle beziehungsweise Kohlenstaub als festes Reduktionsmittel
30 verwendet werden. Beispielsweise kann ein flüssiger Kohlenwasserstoff als flüssiges Reduktionsmittel verwendet werden. Die Zugabe dient beispielsweise zum einen dazu, eine Oxidation, beispielsweise von Eisen, zu verhindern. Gleichzeitig kann dieses genutzt werden, um einen gewünschten neutralen Grauton des fertigen Produkts einzustellen.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt das Mahlen in Schritt c) und/oder Schritt f) bei 100 °C bis 250 °C Materialtemperatur. Diese erhöhte Temperatur ist vorteilhaft, um eine Kondensation von Wasser zu vermeiden und gegebenenfalls weiteres Wasser austragen zu können.

5

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Bindemittel, welches nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt ist.

Nachfolgend ist das erfindungsgemäße Verfahren anhand eines in der Zeichnung
10 dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Fig. 1 Ablaufdiagramm

In Fig. 1 ist das Verfahren stark schematisch dargestellt. Beispielsweise wird ein Ton in
15 die Hammermühle 10 eingebracht, dort zerkleinert und über einen Steigrohrtrockner 20 in ein Eduktsilo 30 gefördert. Der so vorzerkleinerte und getrocknete Ton wird in eine erste Feinstmühle 40 (beispielsweise eine Rührwerkskugelmühle) überführt. Das aus der ersten Feinstmühle 40 entnommene Material wird in einer ersten Trennvorrichtung 50, beispielsweise einem Sichter, getrennt. Die erste Grobfraction wird hierbei in die erste
20 Feinstmühle 40 zurückgeführt und somit weiter zerkleinert. Die erste Feinfraction wird in die zweite Feinstmühle 70, beispielsweise eine Rührwerkskugelmühle mit Mahlkörper-Füllungsgrad von 65 %, überführt, wobei als Mahlkörper Stahl-Kugeln mit einem Durchmesser von 4 mm verwendet werden. Der Energieeintrag beträgt 350 kW / m³. Die Rührwerkskugelmühle hat ein Länge-zu Durchmesser-Verhältnis von 4 und wird mit einer
25 Umfangsgeschwindigkeit von 4 m/s betrieben. Das Verhältnis von Gasvolumenstrom zu Materialstrom beträgt 0,01 m³/kg. Das aus der zweiten Feinstmühle 70 entnommene Material wird in einer zweiten Trennvorrichtung 80, beispielsweise einem Sichter, getrennt. Die zweite Feinfraction wird hierbei in die zweite Feinstmühle 70 zurückgeführt und somit weiter aktiviert. Die zweite Grobfraction wird als aktiviertes Material in ein
30 Produktsilo 60 überführt.

Bezugszeichen

10 Hammermühle

20 Steigrohrtrockner

- 30 Eduktsilo
- 40 erste Feinstmühle
- 50 erste Trennvorrichtung
- 60 Produktsilo
- 5 70 zweite Feinstmühle
- 80 zweite Trennvorrichtung

Patentansprüche

1. Verfahren zur mechanischen Aktivierung von mineralischem Material, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:
 - 5 a) Trocknen und Grobzerkleinern des mineralischen Materials,
 - b) Überführen des mineralischen Materials in einer ersten Feinstmühle (40),
 - c) Mahlen des mineralischen Materials in der ersten Feinstmühle (40),
 - d) Entnehmen des mineralischen Materials aus der ersten Feinstmühle (40),
 - e) Überführen des mineralischen Materials in eine zweite Feinstmühle (70),
 - 10 f) Mechanisches Aktivieren des mineralischen Materials in der zweiten Feinstmühle (70),
 - g) Entnehmen des aktivierten mineralischen Materials aus der zweiten Feinstmühle (70).
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mechanische Aktivieren in Schritt f) mit einem Energieeintrag pro Mahlraumvolumen von wenigstens $100 \text{ kW} / \text{m}^3$, bevorzugt von wenigstens $200 \text{ kW} / \text{m}^3$, durchgeführt wird.
- 20 3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Feinstmühle (70) kontinuierlich betrieben wird.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen Schritt d) und Schritt e) eine erste größenselektive Trennung in
25 eine erste Grobfraction und eine erste Feinfraction durchgeführt wird, wobei die erste Feinfraction in Schritt e) überführt wird, wobei die erste Grobfraction in Schritt b) überführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste
30 größenselektive Trennung derart durchgeführt wird, dass die Größengrenze zwischen der ersten Grobfraction und der ersten Feinfraction der mit der ersten Feinstmühle (40) erreichbaren geringsten Partikelgröße mal einem Faktor von 2 entspricht.

- 5 6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Schritt g) eine zweite größenselektive Trennung in eine zweite Grobfraction und eine zweite Feinfraction durchgeführt wird, wobei die zweite Grobfraction als Produkt entnommen wird, wobei die zweite Feinfraction in Schritt e) überführt wird.
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite größenselektive Trennung derart durchgeführt wird, dass die Größengrenze zwischen der zweiten Grobfraction und der zweiten Feinfraction der mit der zweiten Feinstmühle (70) erreichbaren geringsten Partikelgröße mal einem Faktor von 2 entspricht.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Feinstmühle (40) und die zweite Feinstmühle (70) ausgewählt sind aus der Gruppe umfassend Schwingmühle, Planetenkugelmühle und Rührwerkskugelmühle.
- 20 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als zweite Feinstmühle (70) eine Rührwerkskugelmühle mit einem Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von 2,5 bis 5 ausgewählt wird.
- 25 10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Feinstmühle (70) mit einem Mahlkörper-Füllungsgrad von 50 Vol.-% bis 95 Vol.-%, bevorzugt von 60 Vol.-% bis 70 Vol.-%, gefüllt wird, wobei das Schüttvolumen der Mahlkörper auf das Mahlraumvolumen der zweiten Feinstmühle (70) bezogen wird.
- 30 11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Trocknen und Zerkleinern in Schritt a) auf eine Restfeuchte kleiner 1 Gew.-% und eine Korngröße kleiner 2 mm erfolgt.
- 35 12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mineralische Material ausgewählt wird aus der Gruppe umfassend Ton, Asche, insbesondere Flugasche, Belitzementklinker, Altbetonfeinanteile, Schlacke, Schichtsilikate und Gerüstsilikate.

13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mineralische Material zusammen mit 0,1-50 Gew.-% Quarz oder Korund mechanisch aktiviert wird.
- 5 14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Entnehmen des aktivierten mineralischen Materials in Schritt g) das entnommene Material zur Ermittlung der Aktivierung untersucht wird, wobei zur Untersuchung ein Verfahren oder mehrere Verfahren ausgewählt werden aus der Gruppe umfassend IR-Spektroskopie, RAMAN-Spektroskopie,
10 Röntgenbeugungsanalyse, Wärmeflusskalorimetrie, Thermogravimetrie, Rasterelektronenmikroskopie, Partikelgrößen- und/oder Partikelformanalyse, NMR-Spektroskopie.
- 15 15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Gas ein Gas ausgewählt und verwendet wird, welches ein Gas oder mehrere Gase, ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Stickstoff, Argon, Kohlendioxid, Wasserdampf, Kohlenmonoxid, Wasserstoff, Kohlenwasserstoff, insbesondere Methan, Ethan, Propan und Butan.
- 20 16. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mineralischen Material in Schritt c) und/oder in Schritt f) mit einem flüssigen oder festen Reduktionsmittel vermahlen und mechanisch aktiviert wird.
- 25 17. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Mahlen in Schritt c) und/oder das mechanische Aktivieren in Schritt f) bei 100 °C bis 200 °C erfolgt.
18. Bindemittel hergestellt nach dem Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche.

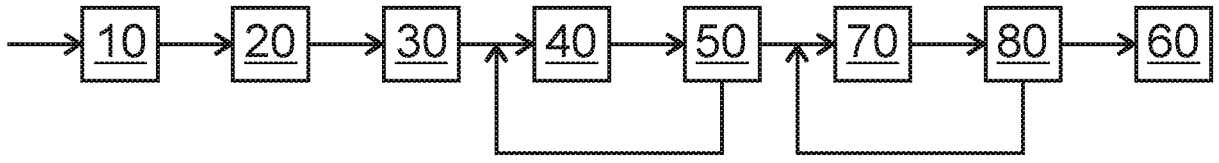


Fig. 1