

19



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

11

N° de publication :

LU503621

12

BREVET D'INVENTION

B1

21

N° de dépôt: LU503621

51

Int. Cl.:
C04B 20/02

22

Date de dépôt: 13/03/2023

30

Priorité:

43

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

47

Date de délivrance: 13/09/2024

73

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

72

Inventeur(s):
DR. MAIER Oliver – Allemagne, WILCZEK Michael –
Allemagne, DR. LAMPE Karl – Allemagne, SACHSE
Carsten – Allemagne, STROTMANN Jan – Allemagne,
WILLMS Eike – Allemagne, DR. RUDOWSKI Luc –
France, DR. RER. NAT. MÖLLER Hendrik – Allemagne,
DR. HAMM Andreas – Allemagne, NEUMANN Thomas
– Allemagne, HINDER Daniel – Allemagne, DR. FYLAK
Marc – Allemagne

74

Mandataire(s):
MICHAEL TETZNER, TETZNER & PARTNER MBB –
81479 München (Allemagne)

54

Kombinierte mechanische und thermische Aktivierung von Tonen.

57

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur kombinierten thermischen und mechanischen Aktivierung von mineralischem Material, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist: a) Grobzerkleinern und Trocknen des mineralischen Materials, b) Mahlen und mechanische Aktivierung in einer ersten Feinstmühle (40), c) thermische Aktivierung in einer thermischen Behandlungsvorrichtung (90), wobei Schritt b) vor Schritt c) oder Schritt c) vor Schritt b) durchgeführt wird.

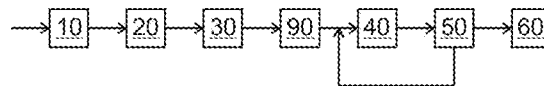


Fig. 2

Kombinierte mechanische und thermische Aktivierung von Tonen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur kombinierten thermischen und 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
10 gegebenenfalls unerwünscht sind. Ferner erfordert der thermische Prozess eine 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.

20

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

Aus der DE 10 2015 106 109 A1 ist ein Verfahren zur tribochemischen Aktivierung von Bindemitteln und Zusatzstoffen bekannt.

25

Da es sich bei Tonen um ein komplexes System handelt (insbesondere im Vergleich zum 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.

5 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 den Zeichnungen.

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

- a) Trocknen und Grobzerkleinern des mineralischen Materials,
- b) Mahlen und mechanische Aktivierung in einer ersten Feinstmühle
- c) thermische Aktivierung in einer thermischen Behandlungsvorrichtung.

15 Der Schritt b) wird vor dem Schritt c) oder der Schritt c) wird vor dem Schritt b) durchgeführt.

20 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 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 Beim Vermahlen eines Materials stellt man in 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. Hierfür gibt es jedoch eine Grenze, eine Partikelgröße, die kaum mehr zu unterschreiten ist (Rittinger-Zone). Ab diesem Punkt kommt man in eine zweite Stufe, wo

die Partikelgröße sich mit weiterem Energieeintrag nicht ändert. 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 (Aggregations-Zone). Erhöht man die Energiezufuhr noch weiter, so kann man zu einer dritten Stufe kommen, wo sogar wieder ein Ansteigen der Partikelgröße feststellbar ist (Agglomerations-Zone). Diesen Bereich wird man bei einer Vermahlung daher noch viel mehr vermeiden, da mit weniger Aufwand ein besseres Ergebnis zu erzielen ist.

Es hat sich jedoch herausgestellt, dass 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 weitestgehend verzichtet werden.

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 einmal nachteilig gegenüber der konventionellen reinen thermischen Aktivierung. Es hat sich jedoch gezeigt, dass das erfindungsgemäße Verfahren, trotz des vergleichsweise hohen Energiebedarfs, insbesondere für die Aktivierung von Tonen vorteilhaft ist. Hierbei besteht jedoch ein Unterschied im fertigen Produkt zwischen der mechanischen Aktivierung und der thermischen Aktivierung, was sich jedoch aufgrund des sehr komplexen Materials und der sehr lokalen Modifikation bei der Aktivierung nur schwer erfassen lässt, sich aber beispielsweise in gewissen Unterschieden beim Abbindeverhalten äußert. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die beiden unterschiedlichen Aktivierungsverfahren entweder verschiedene Zentren aktivieren oder in verschiedener Weise aktivieren. Durch die Kombination lässt sich somit ein neues Bindemittel erhalten. Daher werden erfindungsgemäß beide Aktivierungsverfahren miteinander kombiniert. Wesentlich ist hierbei, dass es sich bei der mechanischen Aktivierung in Schritt b) nicht nur um einen Mahlvorgang zur Verringerung der Partikelgröße handelt, sondern es zu einer tatsächlichen Aktivierung des Materials kommt. Wesentlich ist weiterhin, dass bei der Kombination der mechanischen mit der thermischen Aktivierung der Teilschritt der

thermischen Aktivierung bei deutlich niedrigeren Temperaturen erfolgen kann, als dies bei der reinen thermischen Aktivierung der Fall ist.

5 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die thermische Aktivierung bei einer Temperatur von weniger als 600 °C, bevorzugt weniger als 500 °C durchgeführt. Bei einer rein thermischen Aktivierung sind Temperaturen von 850 °C oder mehr üblich. Somit kann zum einen Energie eingespart werden und so wenigstens teilweise der Energiebedarf für die mechanische Aktivierung eingespart werden. Zum anderen hat aber auch die Reduktion der Höchsttemperatur weitere positive Auswirkungen,
10 beispielsweise eine Reduktion der thermischen Bildung von Stickoxiden oder die Vermeidung von ungewollten Produktveränderungen, beispielsweise Farbveränderungen durch Autoxidation farbgebender Bestandteile.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die mechanische Aktivierung in
15 Schritt b) mit einem Energieeintrag pro Mahlraumvolumen von wenigstens 100 kW / m³, bevorzugt von wenigstens 200 kW / m³, durchgeführt. Ein üblicher Wert für eine Kugelmühle als Beispiel einer Feinstmühle liegt üblicherweise eher bei 20 kW / m³ und somit deutlich niedriger (und energetisch günstiger). Hierbei ist als das Mahlraumvolumen das im Inneren der ersten Feinstmühle zur Verfügung stehende
20 Volumen zu verstehen, also das freie Volumen, wenn kein Material und beispielsweise auch keine Kugeln in der ersten 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.

25 In einer ersten Ausführungsform der Erfindung erfolgt die mechanische Aktivierung in Schritt b) vor der thermischen Aktivierung in Schritt c). Vorteil hierbei ist, dass durch die mechanische Aktivierung, die eben über ein einfaches Vermahlen und damit eine Reduktion der Partikelgröße hinausgeht, bereits eine Aktivierung und damit eine
30 Veränderung auf lokaler Ebene des Materials erreicht ist. Dies vereinfacht wiederum eine anschließende thermische Aktivierung deutlich. Es kann beispielsweise angenommen werden, dass in der mechanischen Aktivierung „Sollbruchstellen“ im Material erzeugt werden, sodass die thermische Aktivierung mit wesentlich weniger Aufwand, insbesondere bei deutlich geringerer Temperatur durchgeführt werden kann.

In einer zweiten Ausführungsform der Erfindung erfolgt die mechanische Aktivierung in Schritt b) nach der thermischen Aktivierung in Schritt c). Vorteil hierbei ist, dass durch die vorangehende thermische Aktivierung und insbesondere durch die dabei entstehenden gasförmigen Produkte ein leichter mahlbares Material erzeugt wird, welches wiederum dann einfacher in die dritte Stufe (Aktivierung beim Mahlvorgang) gebracht werden kann, sodass die Verweilzeit und damit der Energieeintrag pro Menge Produkt geringer ausfällt. Gleichzeitig entspricht dieses Produkt von seinen Bindemittleigenschaften stärker dem rein mechanisch aktivierten Bindemittel, da keine weitere Veränderung nach der mechanischen Aktivierung mehr erfolgt.

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

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

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

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die erste Feinstmühle mit einem Mahlkörper-Füllungsgrad von 50 Vol.-% bis 95 Vol.-%, bevorzugt von 60 Vol.-% bis 70 Vol.-%, gefüllt. Hierbei wird das Schüttvolumen der Mahlkörper auf das Volumen der ersten Feinstmühle bezogen wird. Da bei einer einfachen Schüttung der Füllgrad um 64 % und bei einer dichtesten Kugelpackung 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 Füllgrad einer Mahlkörperschüttung aber sehr von der Form und Gleichförmigkeit der Mahlkörper abhängt, ist es praktisch einfacher hier den Mahlkörper-Füllungsgrad eben auf das Schüttvolumen und nicht auf das eigentliche (gefüllte)

5 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 mineralische 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 das aktivierte Material zur Ermittlung der Aktivierung
10 untersucht. Dieses kann entweder nach nur einem Aktivierungsschritt (mechanisch oder thermisch) oder nach beiden Aktivierungsschritten erfolgen. Bevorzugt erfolgt es zu beiden Punkten, sodass die Aktivierung in beiden aufeinander folgenden Schritten ermittelt werden kann. Hierdurch wird eine Optimierung beider Aktivierungsschritte möglich. Zur Untersuchung wird oder werden ein Verfahren oder mehrere Verfahren
15 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 Verfahren ausgewählt aus der Gruppe umfassend IR-Spektroskopie, RAMAN-
20 Spektroskopie, Röntgenbeugungsanalyse, Wärmeflusskalorimetrie.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird als Gas für den Gasstrom durch die erste Feinstmühle ein Gas ausgewählt und verwendet, welches ein Gas oder mehrere Gase ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Stickstoff, Argon, Kohlendioxid,
25 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 1 Vol.-%, bevorzugt weniger als 0,1 Vol.-%, Sauerstoff auf.

30 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das mineralischen Material in Schritt b) mit einem flüssigen oder festen Reduktionsmittel vermahlen. Beispielsweise kann Kohle beziehungsweise Kohlenstaub als festes Reduktionsmittel verwendet werden. Beispielsweise kann ein flüssiger Kohlenwasserstoff als flüssiges Reduktionsmittel verwendet werden. Die Zugabe dient beispielsweise zum einen dazu,

eine Autoxidation, beispielsweise von Eisen, zu verhindern. Gleichzeitig kann dieses genutzt werden, um einen gewünschten neutralen Grauton des fertigen Produkts einzustellen.

- 5 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt das Mahlen in Schritt b) 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. Insbesondere wenn die thermische Aktivierung in Schritt c) vor der mechanischen Aktivierung in Schritt b) erfolgt, kann dieses bereits durch die Temperatur, mit der das Material eingebracht wird, erreicht werden.

- In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt nach dem mechanischen Aktivieren in Schritt b) eine Trennung des aktivierten mineralischen Materials in eine erste Fraktion und eine zweite Fraktion, wobei die erste Fraktion zur weiteren mechanischen Aktivierung in Schritt b) zurückgeführt wird. Die zweite Fraktion wird als Produkt entnommen (wenn die thermische Aktivierung in Schritt c) vor der mechanischen Aktivierung in Schritt b) durchgeführt wurde) oder der thermischen Aktivierung in Schritt c) zugeführt (wenn die thermische Aktivierung in Schritt c) nach der mechanischen Aktivierung in Schritt b) durchgeführt wurde).

- 20 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die thermische Aktivierung in Schritt c) in einem Flugstromreaktor oder einem Drehrohrofen durchgeführt. Bevorzugt wird ein Flugstromreaktor verwendet.

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

- Nachfolgend ist das erfindungsgemäße Verfahren anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

30

Fig. 1 erstes beispielhaftes Ablaufdiagramm

Fig. 2 zweites beispielhaftes Ablaufdiagramm

In Fig. 1 ist ein erstes Verfahren anhand eines ersten beispielhaften Ablaufdiagrammes stark schematisch dargestellt. Beispielsweise wird ein Ton in 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 (eine Rührwerkskugelmühle mit Mahlkörper-Füllungsgrad von 65 %, wobei als Mahlkörper Stahl-Kugeln mit einem Durchmesser von 4 mm verwendet werden) überführt. Der Energieeintrag beträgt $350 \text{ kW} / \text{m}^3$. Die Rührwerkskugelmühle hat ein Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von 4 und wird mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 4 m/s betrieben. Das Verhältnis von Gasvolumenstrom zu Materialstrom beträgt $0,01 \text{ m}^3/\text{kg}$. Das aus der ersten Feinstmühle 40 entnommene Material wird in einem Sichter 50 getrennt. Das feine Material wird zum Eingang der ersten Feinstmühle 40 zurück transportiert und das grobe aktivierte Material wird in eine thermische Behandlungsvorrichtung 90, bevorzugt ein Flugstromreaktor, überführt und dort bei beispielsweise 450°C thermisch aktiviert. Das fertige Produkt kann dann der thermischen Behandlungsvorrichtung 90 entnommen und in ein Produktsilo 60 überführt werden.

Fig. 2 zeigt ein alternatives zweites Verfahren anhand eines ersten beispielhaften Ablaufdiagramms. Der Unterschied zu dem in Fig. 1 gezeigten ersten Verfahren ist, dass die thermische Aktivierung vor der mechanischen Aktivierung erfolgt. Beispielsweise wird ein Ton in 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 thermische Behandlungsvorrichtung 90, bevorzugt ein Flugstromreaktor, überführt und beispielsweise bei 450°C thermisch aktiviert. Anschließend wird der teilaktivierte Ton in eine erste Feinstmühle 40 (eine Rührwerkskugelmühle mit Mahlkörper-Füllungsgrad von 65 %, wobei als Mahlkörper Stahl-Kugeln mit einem Durchmesser von 4 mm verwendet werden) überführt. Der Energieeintrag beträgt $350 \text{ kW} / \text{m}^3$. Die Rührwerkskugelmühle hat ein Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von 4 und wird mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 4 m/s betrieben. Das Verhältnis von Gasvolumenstrom zu Materialstrom beträgt $0,01 \text{ m}^3/\text{kg}$. Das aus der ersten Feinstmühle 40 entnommene Material wird in einem Sichter 50 getrennt. Das feine Material wird zum Eingang der ersten Feinstmühle 40 zurück transportiert und das grobe aktivierte Material wird in ein Produktsilo 60 überführt.

	10	Hammermühle
	20	Steigrohrtrockner
	30	Eduktsilo
	40	erste Feinstmühle
5	50	Sichter
	60	Produktsilo
	90	thermische Behandlungsvorrichtung

Patentansprüche

1. Verfahren zur kombinierten thermischen und mechanischen Aktivierung von mineralischem Material, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:
 - a) Trocknen und Grobzerkleinern des mineralischen Materials,
 - b) Mahlen und mechanische Aktivierung in einer ersten Feinstmühle (40),
 - c) thermische Aktivierung in einer thermischen Behandlungsvorrichtung (90), wobei Schritt b) vor Schritt c) oder Schritt c) vor Schritt b) durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermische Aktivierung bei einer Temperatur von weniger als 600 °C, bevorzugt weniger als 500 °C durchgeführt wird.
3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mechanische Aktivierung in Schritt b) mit einem Energieeintrag pro Mühlenvolumen von wenigstens 100 kW / m³, bevorzugt von wenigstens 200 kW / m³, durchgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Feinstmühle (40) kontinuierlich betrieben wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Feinstmühle (40) ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Schwingmühle, Planetenkugelmühle und Rührwerkskugelmühle.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Feinstmühle (40) eine Rührwerkskugelmühle ist.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Rührwerkskugelmühle mit einem Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von 2,5 bis 5 ausgewählt wird.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Feinstmühle (40) 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 Volumen der ersten Feinstmühle (40) bezogen wird.

- 5 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rührwerkskugelmühle mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 2 m/s bis 6 m/s, bevorzugt von 3 m/s bis 5 m/s, besonders bevorzugt von 3,5 m/s bis 4,5 m/s, betrieben wird.
- 10 10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rührwerkskugelmühle mit einem Gasvolumenstrom und einem Materialstrom betrieben wird, wobei das Verhältnis von Gasvolumenstrom zu Materialstrom derart eingestellt wird, dass das Verhältnis von Gasvolumenstrom zu Materialstrom zwischen 0,0001 m³/kg und 5 m³/kg, vorzugsweise zwischen 0,1 m³/kg und 2 m³/kg liegt.
- 15 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.
- 20 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.
- 25 13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem mechanischen Aktivieren in Schritt b) eine Trennung des aktivierten mineralischen Materials in eine erste Fraktion und eine zweite Fraktion, wobei die erste Fraktion zur weiteren mechanischen Aktivierung in Schritt b) zurückgeführt wird, und wobei die zweite Fraktion als Produkt entnommen oder
- 30 der thermischen Aktivierung in Schritt c) zugeführt wird.
14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermische Aktivierung in Schritt c) in einem Flugstromreaktor oder einem Drehrohrofen durchgeführt wird.

15. Bindemittel hergestellt nach dem Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche.

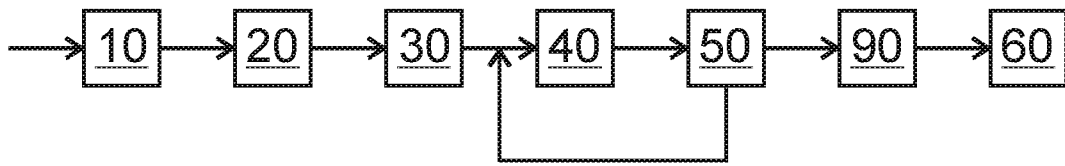


Fig. 1

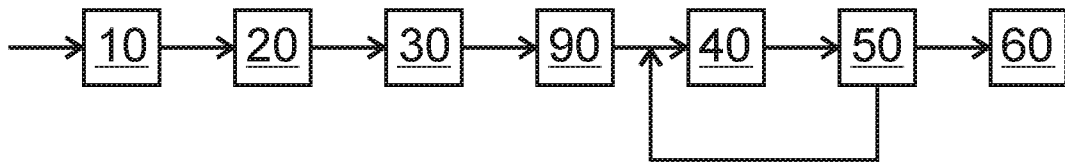


Fig. 2