

19



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

11

N° de publication :

LU503619

12

BREVET D'INVENTION**B1**

21

N° de dépôt: LU503619

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

47

Date de délivrance: 13/09/2024

73

Titulaire(s):

THYSSENKRUPP INDUSTRIAL SOLUTIONS AG –
45143 Essen (Allemagne), THYSSENKRUPP AG –
45143 Essen (Allemagne), SCHWENK ZEMENT GMBH
& CO. KG – 89077 Ulm (Allemagne), Celitement
GmbH & Co. KG – 76344 Eggenstein-
Leopoldshafen (Allemagne)

74

Mandataire(s):

MICHAEL TETZNER, TETZNER & PARTNER MBB –
81479 München (Allemagne), THYSSENKRUPP
INTELLECTUAL PROPERTY GMBH – 45143
Essen (Allemagne)

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
eine erste Feinstmühle (40), c) Mahlen und mechanisches
Aktivieren des mineralischen Materials in der ersten
Feinstmühle (40), d) Entnehmen des aktivierten
mineralischen Materials aus der ersten Feinstmühle (40),
wobei in Schritt c) das Mahlen mit einem Energieeintrag
pro Mühlenvolumen von wenigstens 100 kW / m³
durchgeführt wird.

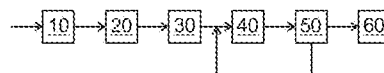


Fig. 1

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 tribochemischen 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, insbesondere von Ton. Im Gegensatz zur konventionellen thermischen Aktivierung wird somit auf einen thermischen Behandlungsschritt nach dem Zerkleinern verzichtet. Das erfindungsgemäße Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

10

- a) Trocknen und Grobzerkleinern des mineralischen Materials,
- b) Überführen des mineralischen Materials in eine erste Feinstmühle,
- c) Mahlen und mechanisches Aktivieren des mineralischen Materials in der ersten Feinstmühle,
- 15 d) Entnehmen des aktivierten mineralischen Materials aus der ersten Feinstmühle.

15

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 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.

20

25

30

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

Der zweite wesentliche Punkt ist, dass erfindungsgemäß in Schritt c) das Mahlen und mechanische Aktivieren mit einem Energieeintrag pro Mahlraumvolumen von wenigstens 100 kW / m³ durchgeführt wird. 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 Volumen zu verstehen, also das freie Volumen, wenn kein Material und beispielsweise auch keine Mahlkörper 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.

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 (Rittinger-Zone). 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. Ab diesem Punkt kommt eine zweite Stufe, bei der sich die Partikelgröße mit weiterem Energieeintrag nicht weiter verändern lässt (Aggregations-Zone). Aus wirtschaftlichen Gründen vermeidet man bei einer Vermahlung daher den Übergang von der ersten Stufe zur zweiten Stufe, da für mehr Aufwand eben kein weiterer Effekt zu verzeichnen ist. Erhöht man die Energiezufuhr noch weiter, so kann eine dritte Stufe erreicht werden, bei der wieder ein Ansteigen der Partikelgröße feststellbar ist (Agglomerations-Zone). Dieser Bereich wird bei einer Vermahlung daher noch viel eher vermieden, da mit geringerem Aufwand ein besseres Ergebnis in Bezug auf die Partikelgrößenverteilung erzielt werden kann.

Es hat sich jedoch herausgestellt, dass es bei hohen Energieeinträgen, also in der dritten Stufe, 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.

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 thermischen Aktivierung. Es hat sich jedoch gezeigt, dass das

5 erfindungsgemäße Verfahren, trotz des vergleichsweise hohen, insbesondere elektrischen, Energiebedarfs, vorteilhaft insbesondere für die Aktivierung von thermisch schwierig zu aktivierenden 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

10 Temperatur Stoffe gasförmig austreten können, die eine aufwändigere Abgasreinigung erfordern. Durch den Verzicht auf höhere Temperaturen kann dieses vermieden werden. Zum anderen werden bei erhöhter thermischer Aktivierungstemperatur oftmals farbgebende Komponenten, beispielsweise Eisenverbindungen, aufoxidiert, was im Falle von stark eisenhaltigen Tonen zu einer ungewünschten Rotfärbung des Produkts führt.

15 Um dieses zu vermeiden ist entweder eine Schutzgasatmosphäre oder eine anschließende Reduktion notwendig, was beides verfahrenstechnisch 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

20 kann der gesamte Vorgang der Aktivierung zur Herstellung eines 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

25 andere). Wählt man bei Tonen, die Minerale dieser Gruppen enthalten, 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,

30 was eine Deaktivierung zur Folge hat. Diese Differenzierung der Tonminerale bezüglich der optimalen Aktivierungstemperatur entfällt hingegen bei der mechanischen Aktivierung.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird in Schritt c) das Mahlen und mechanische Aktivieren mit einem Energieeintrag pro Mahlraumvolumen von wenigstens 200 kW / m³ durchgeführt.

- 5 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die erste Feinstmühle kontinuierlich betrieben. Dieses bedeutet, dass sowohl gemäß Schritt b) mineralisches Material kontinuierlich in die erste Feinstmühle eingetragen wird und gleichzeitig kontinuierlich gemäß Schritt d) aktiviertes mineralisches Material entnommen wird. Bevorzugt wird die erste Feinstmühle daher als Durchlaufmühle mit einer Eingangsseite und einer
- 10 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

15 umfassend Planetenkugelmühle und Rührwerkskugelmühle. Diese Mühlentypen haben sich für die mechanische Aktivierung als besonders geeignet herausgestellt, da mit diesen Mühlentypen besonders hohe Energiedichten ins Material einbringbar sind. Besonders bevorzugt ist als erste Feinstmühle eine Rührwerkskugelmühle.

- 20 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

25 70 Vol.-%, gefüllt. Hierbei wird das Schüttvolumen der Mahlkörper auf das Mahlraumvolumen der ersten Feinstmühle bezogen. 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

30 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 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. Insbesondere werden Mahlkörper aus Stahl ausgewählt.

5

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden keramische Mahlkörper ausgewählt.

10 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 bevorzugt von 3,5 m/s bis 4,5 m/s, betrieben.

15

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 Gasvolumenstrom zu Materialstrom zwischen $0,0001 \text{ m}^3/\text{kg}$ und $5 \text{ m}^3/\text{kg}$, vorzugsweise
20 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.

25 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
30 Gruppe umfassend Asche, insbesondere Flugasche, Belitzementklinker, Altbetonfeinanteile, Schlacke, Schichtsilikate und Gerüstsilikate.

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 d) das entnommene Material zur Ermittlung der Aktivierung untersucht. Zur Untersuchung wird oder werden ein Verfahren oder
5 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
10 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 ein Gas ausgewählt und verwendet, welches ein Gas oder mehrere
15 Gase 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 1 Vol.-%, bevorzugt weniger als 0,1 Vol.-%, Sauerstoff auf.

20 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das mineralische Material in Schritt c) 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
25 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) bei
30 100 °C bis 250 °C Materialtemperatur. Diese erhöhte Temperatur ist vorteilhaft, um eine Kondensation von Wasser zu vermeiden und gegebenenfalls weiteres Wasser austragen zu können.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt nach Schritt d) in einem Schritt e) eine Trennung des aktivierten mineralischen Materials in eine erste Fraktion und eine

zweite Fraktion, wobei die erste Fraktion in Schritt b) zurückgeführt wird, wobei die zweite Fraktion als Produkt entnommen wird. Beispielsweise erfolgt die Trennung mittels eines Sichters. Hierbei wird die feinere erste Fraktion 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 normalerweise die Grobfraction zurückgeführt wird.

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 dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Fig. 1 Ablaufdiagramm

In Fig. 1 ist das Verfahren stark schematisch dargestellt. Beispielsweise wird ein Ton in die Hammermühle 10 eingebracht, dort zerkleinert und über einen Steigrohr Trockner 20 in ein Eduktsilo 30 gefördert. Der so vorzerkleinerte und getrocknete Ton wird in eine erste Feinstmühle 40 überführt, und zwar in eine Rührwerkskugelmühle mit einem Mahlkörper-Füllungsgrad von 65 %, wobei als Mahlkörper Stahl-Kugeln mit einem Durchmesser von 4 mm verwendet werden. 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, feines Material wird zum Eingang der ersten Feinstmühle 40 zurück transportiert, das grobe aktivierte Material wird in ein Produktsilo 60 überführt.

Bezugszeichen

10	Hammermühle
20	Steigrohr Trockner
30	Eduktsilo
40	erste Feinstmühle
50	Sichter
60	Produktsilo

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 eine erste Feinstmühle (40),
 - c) Mahlen und mechanisches Aktivieren des mineralischen Materials in der ersten Feinstmühle (40),
 - 10 d) Entnehmen des aktivierten mineralischen Materials aus der ersten Feinstmühle (40),wobei in Schritt c) das Mahlen mit einem Energieeintrag pro Mühlenvolumen von wenigstens $100 \text{ kW} / \text{m}^3$ durchgeführt wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** in Schritt c) das Mahlen und mechanische Aktivieren mit einem Energieeintrag pro Mühlenvolumen von wenigstens $200 \text{ kW} / \text{m}^3$ durchgeführt wird.
- 20 3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Feinstmühle (40) kontinuierlich betrieben wird.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Feinstmühle (40) ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend Schwingmühle, Planetenkugelmühle und Rührwerkskugelmühle.
- 25 5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Feinstmühle (40) eine Rührwerkskugelmühle ist.
- 30 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Rührwerkskugelmühle mit einem Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von 2,5 bis 5 ausgewählt wird.
- 35 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 6, **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 Mahlraumvolumen der ersten Feinstmühle (40) bezogen wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** Mahlkörper aus Eisen oder einer Eisenlegierung oder aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung oder aus Keramik ausgewählt werden.
- 5
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** Mahlkörper mit einem Durchmesser von 1 mm bis 10 mm ausgewählt werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **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
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **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
12. 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
13. 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
14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mineralische Material zusammen mit 0,1-50 Gew.-% Quarz oder Korund mechanisch aktiviert wird.
- 30
15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Entnehmen des aktivierten mineralischen Materials in Schritt d) das entnommene Material zur Ermittlung der Aktivierung untersucht wird, wobei
- 35

- zur Untersuchung ein Verfahren oder mehrere Verfahren ausgewählt werden aus der Gruppe umfassend IR-Spektroskopie, RAMAN-Spektroskopie, Röntgenbeugungsanalyse, Wärmeflusskalorimetrie, Thermogravimetrie, Rasterelektronenmikroskopie, Partikelgrößen- und/oder Partikelformanalyse, NMR-Spektroskopie.
- 5
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Entnehmen des aktivierten mineralischen Materials in Schritt d) 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, Röntgenbeugungsanalyse, Wärmeflusskalorimetrie.
- 10
17. 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.
- 15
18. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mineralische Material in Schritt c) mit einem flüssigen oder festen Reduktionsmittel vermahlen und mechanisch aktiviert wird.
- 20
19. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Mahlen und mechanische Aktivieren in Schritt c) bei 100 °C bis 200 °C erfolgt.
- 25
20. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Schritt d) in einem Schritt e) eine Trennung des aktivierten mineralischen Materials in eine erste Fraktion und eine zweite Fraktion, wobei die erste Fraktion in Schritt b) zurückgeführt wird, wobei die zweite Fraktion als Produkt entnommen wird.
- 30
21. Bindemittel hergestellt nach dem Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche.
- 35

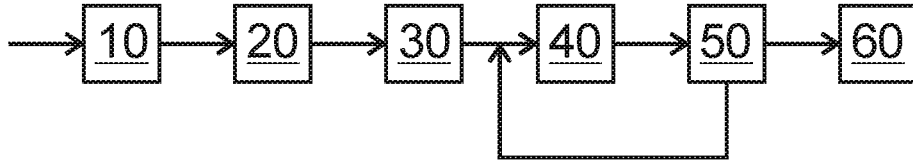


Fig. 1