



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
27.05.2009 Patentblatt 2009/22

(51) Int Cl.:
B03B 9/04 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08020485.2**

(22) Anmeldetag: **26.11.2008**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA MK RS

(71) Anmelder: **Hanseatisches Schlackenkonto GmbH**
20539 Hamburg (DE)

(72) Erfinder: **Zwar, Heiner, Dr.-Ing.**
21465 Reinbek (DE)

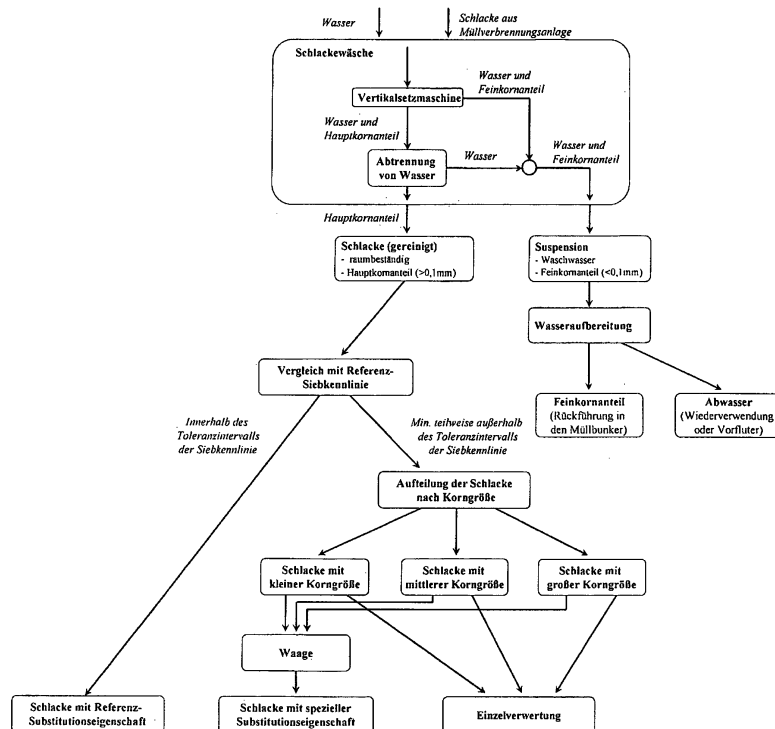
(30) Priorität: **26.11.2007 DE 102007057106**

(74) Vertreter: **Hauss-Löhde, Corinne White & Case LLP**
Jungfernstieg 51
20354 Hamburg (DE)

(54) **Verfahren zur Herstellung eines verdichtungsfähigen Schlackegranulats**

(57) Erfindungsgemäß ist ein Verfahren zur Herstellung eines, insbesondere verdichtungsfähigen und insbesondere unmittelbar nach der Herstellung (insbesondere ohne Zwischenlagerung) vorzugsweise raumbeständigen, Schlackegranulats aus Abfallverbrennungs-

schlacke, insbesondere für den Hoch- oder Tiefbau, dadurch gekennzeichnet, dass Schlackeanteile mit einem Korndurchmesser kleiner als 0,1 mm (Feinkornanteil) ausgewaschen werden, wobei dieser Feinkornanteil um mindestens 50%, insbesondere um 75% bis 95%, vorzugsweise um 90 % reduziert wird.



Figur 1

Beschreibung

5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines, insbesondere verdichtungsfähigen und insbesondere unmittelbar nach der Herstellung (insbesondere ohne Zwischenlagerung) vorzugsweise raumbeständigen, Schlackegranulats, insbesondere aus Abfallverbrennungsschlacke.

Stand der Technik:

10 **[0002]** Der Begriff der Schlacke wird sowohl in der Geologie als auch in der Technik verwendet. In der folgenden Beschreibung wird ohne weitere Bezugnahme von der technischen Schlacke und zwar hier insbesondere von Schlacke, die aus der Müllverbrennung stammt, gesprochen.

15 **[0003]** Es ist bekannt, dass Schlacke aus Abfallverbrennungsanlagen im Allgemeinen in Abhängigkeit von Abfallzusammensetzung, Feuerungsbedingungen und Austragsart unterschiedliche Eigenschaften und Zusammensetzungen aufweist (Aschen aus der Müllverbrennung - Baustoff auf Deponien oder Abfall zur Ablagerung? / Bayerisches Landesamt für Umweltschutz / Seite 2). Demnach ist Schlacke ein Gemenge mit schwankender Verteilung aus:

- Asche,
- 20 • gesinterten fein- und grobkörnigen Verbrennungsprodukten,
- inerten Abfallinhaltsstoffen wie Glas, Keramik und Steine,
- Metallen und
- 25 • organischem Material.

30 **[0004]** Die Weiterverarbeitung der Schlacke aus einer Abfallverbrennungsanlage wird national und teilweise regional sehr unterschiedlich verfolgt. Ein vielleicht einfacher aber in mancher Hinsicht fragwürdiger Weg ist die Deponierung der Schlacke. Alternativ hierzu existiert der Weg der Aufbereitung der Schlacke zu verwertbaren Baustoffen. Absatzmärkte gibt es beispielsweise im Straßen- und Wegebau, wo das Recyclingmaterial Schlacke zum Beispiel als Tragschicht insbesondere unter einer wasserundurchlässigen Deckschicht eingesetzt wird. Unterhalb der Deck- und Tragschichten befindet sich zumeist eine Frostschutzschicht, die aufgrund der guten Drainagewirkung von Schlacke ebenfalls aus dieser, zumindest anteilig, bestehen kann. Alternativ wird die Schlacke als Bodenbefestigung mit Zement oder auch als Ersatzbaustoff für Magerbeton eingesetzt (Merkblatt für den Einbau von emvau-mix / SBH Spezial-Beton Hamburg GmbH / Seite 1). Allen Anwendungsgebieten gemeinsam ist, dass die aufbereitete Schlacke die Anforderungen und Richtlinien zum Einsatz als Baumaterial sowie umweltrelevanten Bedingungen (bisher festgehalten in den Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall z.B. LAGA 20) erfüllen muss.

35 **[0005]** Die wesentlichen bauphysikalischen Anforderungen, auch an die durch Schlacke zu substituierenden Baumaterialien sind entsprechend ihrem Einsatzzweck und Regelwerk die folgenden:

- 40 a) Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel,
- b) Widerstand gegen Schlag,
- 45 c) bestimmter Wassergehalt,
- d) bestimmte Proctordichte,
- e) bestimmte Rohdichte,
- 50 f) bestimmter Höchstanteil chemischer Substanzen (selektiv),
- g) bestimmte Siebkennlinie / Korngrößenverteilung und
- 55 h) Raumbeständigkeit.

[0006] Die Anforderungen a) und b) sind auf den trivialen Zusammenhang zurückzuführen, dass ein im Außenbereich eingesetzter Baustoff verschiedensten Witterungen sowie mechanischen Belastungen ausgesetzt ist.

[0007] Der Wassergehalt c), die Proctordichte d) sowie die Rohdichte e) sind insbesondere dann von Bedeutung, wenn der Baustoff mit anderen Baumaterialien in Verbindung kommt oder sogar eine Verbindung eingehen soll.

[0008] Entsprechend der Anforderung f) dürfen Baustoffe sowohl im gewerblichen als auch im privaten Bereich ausgewählte Chemikalien nur innerhalb gesetzlicher Grenzen enthalten. Dieses gilt insbesondere für Chemikalien, die leicht emittieren oder sich bei Flüssigkeitskontakt lösen und/oder das Grundwasser verunreinigen können.

[0009] Die Korngrößenverteilung g) eines Baustoffs bestimmt maßgeblich die Fähigkeit zum Einsatz im Straßenbau. Baustoffe die hier verwendet werden, müssen sich gut verarbeiten und verdichten lassen. Die Möglichkeit, ein Granulat wie Sand, oder ein Gemenge aus Steinen und Kies zu verdichten, hängt von seinen Korngrößenverteilungen ab. Würden beispielsweise für eine Tragschicht im Straßenbau nur großkörnige Steine verwendet, entstünden zwischen den Steinen Lücken, die sich mit fortlaufender Zeit und Belastung verschieben würden. Die Folge wäre die schnelle Abnutzung oder sogar vorzeitige Zerstörung der Straßen. Das andere Extrem, die ausschließliche Verwendung von sehr feinkörnigem Granulat zur Herstellung einer Tragschicht im Straßenbau, führt oftmals auch nicht zu dem gewünschten Erfolg, da das feine Granulat bei hoher Belastung nachgibt. Beide soeben genannten Beispiele zeigen sehr deutlich, dass die Auswahl einer geeigneten Korngrößenverteilung eines Baustoffs, insbesondere bei einer angestrebten längerfristigen Nutzung, sorgsam zu wählen ist. In der Praxis bewährt und beispielsweise durch die "Technischen Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau" (TL Gestein-StB herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen) festgehalten, werden im Straßenbau Granulate verwendet, die je nach Einsatzzweck eine passend definierte Siebkennlinie aufweisen und an die typischen Belastungen im Straßenbau beziehungsweise an die bauphysikalischen Kennwerte angepasst sind. Die Siebkennlinie beschreibt im Allgemeinen den Siebdurchlass in Massenprozent gegenüber der Maschenweite. Ein Granulat, das eine solche Siebkennlinie erfüllt, ist in der Regel verdichtungsfähig, dadurch tragfähig und so auch für den Straßenbau zumindest theoretisch geeignet.

[0010] Die Anforderung h), also die Raumbeständigkeit, bezieht sich auf nicht inerte Baumaterialien, die möglicherweise nach ihrem zweckbestimmten Verbau noch chemische Reaktionen ausführen können und aufgrund dieser Reaktionen ihr Volumen ändern. Im Allgemeinen sind diese Volumenänderungen sowohl in positiver als auch in negativer Richtung nachteilig gegenüber raumbeständigen Materialien, da der Einsatz von raumbeständigen Materialien wesentlich einfacher, planbarer und folglich auch wirtschaftlich günstiger ist.

[0011] Übliche Standardverfahren zur Aufbereitung von Müllverbrennungsschlacke, in denen die Schlacke zumeist durch Siebung in zwei Anteile (und zwar üblicherweise größer und kleiner gleich 32 mm Durchmesser) aufgeteilt wird, erfüllen die Anforderungen a) bis f).

[0012] In der Praxis werden die Schlackeprodukte bekanntlich mindestens drei Monate gelagert, mit dem Ziel die Anforderung h), also die Raumbeständigkeit, zu erreichen. Dieser Zeitraum muss zumeist voll ausgeschöpft werden, um noch aktive Carbonatisierungs- und Sulfatreaktionen und die hiermit verbundenen Volumenänderungen der Schlacke abzuwarten. Sind die Reaktionen abgeschlossen, kann von einer inerten und in Folge dessen raumbeständigen Schlacke ausgegangen werden. Aus dem Stand der Technik sind derzeit keine Verfahren oder Prinzipien bekannt, die offen legen oder es dem Fachmann ersichtlich erscheinen lassen, wie das Zeiterfordernis bis zum Erreichen der Raumbeständigkeit verringert oder sogar vermieden werden kann.

[0013] Aus wirtschaftlicher Sicht ist der hohe Lagerungsaufwand sehr nachteilig. Fallen in einer Müllverbrennungsanlage an einem Tag beispielsweise 200 Tonnen Schlacke an, so ist zur Aufbereitung der Schlacke bei einer dreimonatigen Lagerung ein Lagervolumen von ca. 18000 Tonnen bereitzustellen. Lagervolumen zur Disposition und zur Zwischenlagerung bei Absatzschwierigkeiten sind hierbei noch nicht berücksichtigt.

[0014] Um die ausreichend gelagerte und damit inerte Schlacke direkt als Baumaterial zu verwenden, fehlt der nach dem bekannten Stand der Technik aufbereiteten Schlacke zusätzlich noch für bestimmte Anwendungsbereiche wie den Straßenbau die Erfüllung des Merkmals g), also der Korngrößenverteilung gemäß bestimmter Siebkennlinie. Durch das Standardverfahren zur Schlackeaufbereitung, in dem die Schlacke durch Siebung in zwei Größenordnungen aufgeteilt wird (größer beziehungsweise kleiner/gleich einem Korndurchmesser von ca. 32 mm), wird eine entsprechende Siebkennlinie zumindest unmittelbar nicht erfüllt. Hier insbesondere durch entsprechende Einflussnahme beim Brechen des Überkorns (größer 32 mm) und durch bestimmte Möglichkeiten der Einflussnahme auf den Verbrennungsablauf offenbaren sich aber zusätzliche Möglichkeiten zur Einstellung von unterschiedlichen Siebkennlinien.

Problemstellung:

[0015] Aus dem Stand der Technik geht kein Verfahren zum Recycling von Müllverbrennungsschlacke hervor, das unmittelbar nach der mechanischen Aufbereitung (Brechen, Sieben, Metallabscheidung) sowohl wirtschaftlich attraktiv ist als auch die Anforderungen aus dem Baubereich erfüllt. Endprodukte bekannter Verfahren, also die herkömmlich aufbereiteten Schlacken, erfüllen nicht das Erfordernis der Raumbeständigkeit. Resultierend muss eine kostspielige und zeitaufwendige Lagerung der Schlacke in Kauf genommen werden, bis die Schlacke genügend reaktionsträge ist.

Aufgabe:

[0016] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Schlacke, insbesondere aus einer Müllverbrennungsanlage, mindestens ohne zeitaufwendige Lagerung als alternativen Baustoff zur Verfügung zu stellen.

Lösung:

[0017] Diese Aufgabe wird von einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Hauptanspruch:

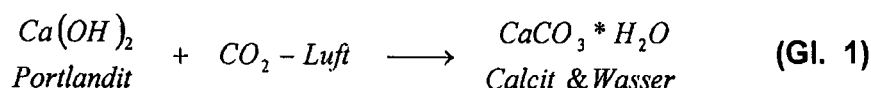
[0018] Erfindungsgemäß wird Abfallverbrennungsschlacke zur Herstellung eines insbesondere verdichtungsfähigen und/oder raumbeständigen Schlackegranulats gewaschen. Der Feinkornanteil der Schlacke mit einem Korndurchmesser kleiner als 0,1 mm wird durch die Wäsche mit einem Waschwasser ausgewaschen und suspendiert, wobei sich durch diesen Vorgang der Feinkornanteil um mindestens 50%, insbesondere um 75% bis 95% - vorzugsweise um mindestens 80%, 85% oder 90% - reduziert (Reduzierungsquote). Die Restmengen des nicht ausgewaschenen Feinkornanteils der Schlacke wirken positiv auf die Verdichtungsfähigkeit des gewaschenen Schlackegranulats. Besonders bevorzugt wird die Wäsche insbesondere mechanisch durch eine Schwertwäsche und insbesondere in Verbindung mit einer Schneckenwäsche (insbesondere Sandschnecke) durchgeführt.

[0019] Vorzugsweise wird der übrige Kornanteil der Schlacke ($\geq 0,1$ mm) im Wesentlichen unverändert gelassen - oder zumindest in dem Bereich von noch relativ feiner Körnung (0,1 mm bis 2,0 mm) mindestens soweit unverändert gelassen, dass mindestens eine gute Verdichtungsfähigkeit der Schlacke erhalten bleibt.

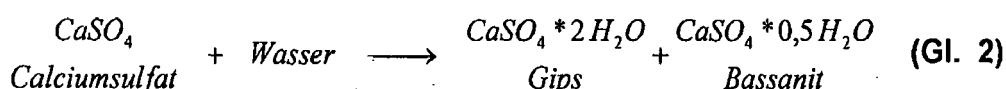
[0020] Um das Resultat der Raumbeständigkeit, dass sich äußerst vorteilhaft durch die erfindungsgemäße Wäsche der Schlacke vorzugsweise auch ohne Zwischenlagerung (also insbesondere unmittelbar nach der Herstellung) ergibt, zu verdeutlichen, wird im Folgenden der Zusammenhang zwischen der mineralogischen Phasenzusammensetzung der Schlacke und der durch die Wäsche verhinderten chemischen und zugleich Raum verändernden Reaktionen dargelegt.

[0021] Der Feinkornanteil der Schlacke mit einem Korndurchmesser von kleiner als 0,1 mm weist im Allgemeinen und belegt durch Versuchsreihen eine höhere Konzentration an Sulfaten und Carbonaten auf.

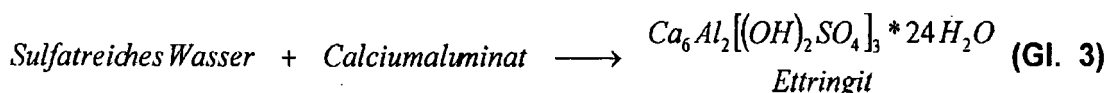
[0022] Kommt Schlacke aus Müllverbrennungsanlagen dann in Kontakt mit Luft, also auch in Kontakt mit Kohlendioxid, wird das in der Schlacke vorhandene Portlandit mit dem Kohlendioxid der Luft gemäß der Carbonatisierungsreaktion (Gl. 1.) zu Calcit und Wasser umgewandelt.



[0023] Das Wasser aus dem Reaktionsprodukt gemäß Gleichung (Gl. 1) sowie bereits vorher vorhandenes Wasser stellt eine Grundlage für weitere Sulfatreaktionen dar. Im Folgenden werden deshalb die im Wesentlichen für eine Volumenänderung verantwortlichen chemischen Reaktionen aufgezeigt, die ebenfalls durch die Wäsche der Schlacke annähernd vollständig verhindert werden. Das Wasser kann bei ungereinigter oder nur ungenügend gereinigter Schlacke mit dem in dem Feinanteil vorhandenen Sulfat, insbesondere Calciumsulfat, eine Verbindung gemäß der Sulfatreaktion (Gl. 2) eingehen, so dass sich hieraus Gips beziehungsweise Bassanit ergibt.



[0024] Eine weitere Volumenzunahme wird durch die dritte Reaktion (Gl. 3) hervorgerufen. Calciumaluminat, welches oftmals Bestandteil einer ungereinigten oder ungenügend gereinigten Schlacke aus einer Müllverbrennungsanlage ist, reagiert mit dem sulfatreichen Wasser zu Ettringit.



[0025] Gemäß den Gleichungen (Gl. 1) bis (Gl. 3) verursachen zumeist alle Reaktionen bei einer ungereinigten oder nur ungenügend gereinigten Schlacke eine Volumenzunahme. Durch die gezielte Abtrennung des Feinkornanteils mit einem Korndurchmesser von kleiner als 0,1 mm wird sichergestellt, dass die für die Volumenzunahme verantwortlichen Reaktionen gemäß den Gleichungen (Gl. 1) bis (Gl. 3) nicht oder zumeist nur in geringem Umfang stattfinden. Das Endprodukt der Wäsche ist somit ausreichend raumbeständig und kann ohne Nachlagerung in den zugelassenen Bau-bereichen eingesetzt werden.

Unteransprüche:

[0026] Bevorzugt ist, eine Trennung des Feinkornanteils der Schlacke und deren restlichen Anteil beim Waschen durchzuführen und zwar insbesondere indem die sich beim Waschen bildende Suspension aus Feinkornanteil und Waschwasser abgeführt wird. Entnommene Wasseranteile können insbesondere durch Frischwasser wieder ersetzt werden.

[0027] Um zu erreichen, dass die Schlacke sowohl von dem erfindungsgemäß bestimmten Feinkornanteil befreit wird, als auch eine gewünschte Korngrößenverteilung aufweist, kann der Waschprozess vorzugsweise in Abhängigkeit von Prozessgrößen und/oder -parametern durch Veränderung der Flüssigkeitszufuhr, der Schlackezufuhr und/oder durch Veränderung anderer Prozessparameter und/oder -größen geregelt und/oder gesteuert werden. Ein besonders vorteilhafter Kompromiss zwischen Aufwand und Ergebnis kann erreicht werden, wenn der Waschprozess vorzugsweise ausschließlich durch die Veränderung der Flüssigkeitszufuhr gesteuert und/oder geregelt wird, mit dem Ziel, den Feinkornanteil entsprechend den Merkmalen des Anspruch 1 zu reduzieren.

[0028] In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung, insbesondere zur Beschleunigung des Waschprozesses und/oder um die Homogenität der Suspension aus Schlacke und Waschwasser zu erhöhen, kann das Waschen hydrodynamisch und/oder mechanisch unterstützt sein. Ausführungsformen können die Schwertwäsche, die Setzwäsche, insbesondere die Vertikalsetzwäsche und/oder die Schneckenwäsche (insbesondere Sandschnecke) sein. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Wäsche durch eine Schwertwäsche insbesondere in Verbindung mit einer Schneckenwäsche (insbesondere Sandschnecke). Im Gegenstromverfahren, insbesondere im Gegenstrom einer Schlacke zu einer Waschflüssigkeit, kann eine Waschflüssigkeit vorzugsweise unterstützt durch mechanische Reibung der Schlackenkörner untereinander den Feinkornanteil der Schlacke abtrennen. Der durch eine Schneckenwäsche beziehungsweise Sandschnecke abgetrennte Feinkornanteil tritt mit dem Waschwasser zumeist am unteren Ende einer schräg stehenden Schwertwäsche und/oder einer Sandschnecke aus. Die mechanischen Ausführungsformen können in mehreren, vorzugsweise in aufeinander folgenden Prozessschritten Anwendung finden, in denen das Waschen jeweils im Gleichstrom und/oder Gegenstromverfahren ausführbar ist. Vorzugsweise erfolgt die Schlackenwäsche mit einer Schwertwäsche in Verbindung mit einer Schneckenwäsche (insbesondere Sandschnecke), wobei besonders bevorzugt die Sandschnecke ein integraler Bestandteil der Schwertwäsche ist.

[0029] Alternativ zu einer kontinuierlichen Wäsche oder in Kombination mit dieser kann der Waschprozess auch diskontinuierliche Abschnitte aufweisen. Ruhebecken, in denen eine quasistationäre Bewegung vorherrscht, können einen Beitrag zur Trennung des Feinkornanteils von dem Hauptkornanteil der Schlacke leisten.

[0030] Zusätze im Waschwasser des Waschprozesses können für eine chemische Fällung, insbesondere zur Fällung von Schwermetallen wie beispielsweise Kupfer, Blei, Zink, Zinn, Nickel oder Cadmium, vorteilhaft genutzt werden.

[0031] Je nach Phasenzusammensetzung der Schlacke, vorzugsweise in relativer Abhängigkeit der Sulfat- und Carbonatanteile, ist es vorteilhaft, je Kilogramm Schlacke zwischen 2 Liter und 4 Liter, vorzugsweise 3 Liter Waschwasser zu verwenden beziehungsweise dem Waschprozess zuzuführen. Waschwasser, welches aus dem Waschprozess austritt, kann vorzugsweise nach einer Wiederaufbereitung (also insbesondere nach einer Abtrennung der Schlackeanteile vom Wasser) rezirkuliert (nämlich vorzugsweise intern dem Waschprozess zurückgeführt) und/oder für andere

[0032] Prozessschritte, insbesondere zur Abgasreinigung, verwendet werden oder dem Vorfluter zugeführt werden.

[0033] Die Anwendung der erfindungsgemäßen Schlackewäsche ist insbesondere auch dann vorteilhaft, wenn der Hauptkornanteil einen sekundären Glasanteil aufweist. Glas, welches im Allgemeinen einen anderen Lichtbrechungsindex als die Schlacke selbst aufweist, kann durch ein optisches Verfahren erkannt und/oder abgetrennt werden. Die Anwendung dieser Verfahren setzt allerdings zunächst ganz allgemein voraus, dass ein Lichtstrahl auf das Glas treffen kann - und reflektiert oder gebrochen wird, um das Glas optisch erkennbar zu machen - und bezogen auf den vorliegenden Fall, dass der Feinanteil der Schlacke das Glas nicht abdeckt und nicht für Licht undurchlässig macht. Durch die erfin-

5 dungsgemäße Wäsche kann die an dem Glas anhaftende Schlacke im Wesentlichen in das Waschwasser suspendieren, so dass die Durchsichtigkeit für Licht wieder herstellbar ist und in diesem Zusammenhang ein optisches Verfahren zur Abtrennung anwendbar wird. Mit anderen Worten wird, insbesondere erst nach der Wäsche und der einhergehenden Abtrennung des Feinkornanteils, der sekundäre Glasbestandteil der Schlacke optisch erkennbar und kann vorzugsweise

10 **[0034]** Bevorzugt ist dabei, den gewaschenen Hauptkornanteil im freien Fall mit Licht zu beleuchten. Die unterschiedliche Lichtdurchlässigkeit der Schlacke und des Glases erlauben es, die sich im freien Fall befindenden Glasanteile zu erkennen und deren Flugbahn und/oder Fluggeschwindigkeit zu berechnen. So ist es möglich, die Glasteile insbesondere im freien Fall pneumatisch, vorzugsweise durch eine ansteuerbare Luftdüsenanordnung, durch Luftimpulse von der Schlacke zu trennen.

15 **[0035]** Entsprechend den Einsatzgebieten, kann die Schlacke, insbesondere welche nicht die Korngrößenverteilung einer gegebenen Siebkennlinie aufweist, in mindestens einem separaten und/oder integrierten, möglicherweise folgenden Prozessschritt in verschiedene Korngrößen insbesondere durch Siebung in Einzelfraktionen aufgeteilt werden, um daraus möglicherweise die Einzelfraktionen direkt zu vermarkten oder vorzugsweise durch Wägung von Einzelfraktionen der gewaschenen Schlacke Gemische mit bestimmten Siebkennlinien für unterschiedliche Anforderungen herzustellen.

Figuren:

20 **[0036]** Diese und weitere Merkmale sowie Vorteile der vorliegenden Erfindung werden mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen betreffende Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung weiter beschrieben.

Figur 1 zeigt schematisch einen grundlegenden Verfahrensablauf zur Schlackewäsche und

25 Figur 2 zeigt schematisch einen bevorzugten Verfahrensablauf zur Schlackewäsche und

Figur 3 zeigt beispielhaft die Siebkennlinie eines erfindungsgemäß hergestellten Schlackegranulats zur Substitution von Baustoffen wie "Kies und Schotterschichten 0/32" gemäß den technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau - ZTV SoB-StB 04.

30 **[0037]** **Figur 1** stellt schematisch einen möglichen erfindungsgemäßen Verfahrensablauf dar. Schlacke aus einer Müllverbrennungsanlage sowie Wasser, welches in den Waschprozess eintritt, werden der Wäsche zugeführt. Entsprechend der Darstellung in Figur 1 weist die Schlackewäsche zwei Verfahrensabschnitte auf, und zwar die Vertikalsetzwäsche und die Abtrennung von Wasser.

35 **[0038]** Die Vertikalsetzwäsche ist durch ein sich vertikal bewegendes, vorzugsweise schwingendes, Gefäß charakterisiert, welches von zwei Volumenströmen vertikal im Gegenstromverfahren durchflossen wird. Die gegenläufigen Volumenströme sind zum einen das in den Waschvorgang eintretende Wasser und zum anderen die Schlacke aus der Müllverbrennungsanlage. Um den Gegenstromeffekt zu erzielen, weist die obere und die untere Seite des Gefäßes jeweils einen Zufluss sowie einen Abfluss auf. Die Massenströme an den beiden Zuflüssen sind die Massenströme von Schlacke und Wasser, welche in den Waschprozess eintreten. Durch den auftretenden Gegenstromeffekt ist diese Methode besonders effektiv, um den Feinanteil der Schlacke in dem Wasser zu lösen.

40 **[0039]** Durch angepasste Prozessgrößen und -parameter wird der Feinkornanteil mit dem an der Oberseite austretenden Wasser abgeführt, während der Hauptkornanteil der Schlacke an der Unterseite mit dem restlichen Wasser austritt. In diesem Zusammenhang wird deutlich, welchen Einfluss die Einstellung der zufließenden Wassermenge besitzt. Eine höhere Wassermenge führt zu einer stärkeren Durchspülung und folglich zu einem höheren Austrag der Schlacke mit dem Waschwasser an der Oberseite. Deshalb wird hier eine Einstellung gewählt, die sowohl den Feinkornanteil um den gewünschten Anteil, vorzugsweise um 90%, reduziert und zugleich die gewünschte Siebkennlinie, vorzugsweise eine an den Straßenbau angepasste Siebkennlinie, sicherstellt. Denn das hier beispielhaft beschriebene erfindungsgemäße Verfahren hat den zusätzlichen Vorteil, dass sein Produkt - die aufbereitete Schlacke - einer Siebkennlinie unmittelbar entspricht.

50 **[0040]** Die Suspension des Waschprozesses, bestehend aus dem Wasser und dem Hauptkornanteil der Schlacke, wird in dem zweiten Verfahrensabschnitt getrennt. Das abgeschiedene Wasser wird im Weiteren der zuvor an der Oberseite des Gefäßes austretenden Suspension aus Feinanteil und Wasser zugeführt. Die Endprodukte der Schlackewäsche sind somit zum einen der Hauptkornanteil der Schlacke und zum anderen die Suspension aus Wasser und dem Feinkornanteil der Schlacke, welche im Weiteren der Wasseraufbereitung zugeführt wird. Hier erfolgt die Abtrennung des Feinkornanteils von dem Wasser insbesondere durch die Ausnutzung unterschiedlicher spezifischer Gewichte, vorzugsweise unter Verwendung einer Zentrifuge. Der abgetrennte Feinkornanteil wird, vorzugsweise über eine Zwischenlagerung im Müllbunker, in die Verbrennungskammer zurückgeführt, so dass keine neuen Abfälle entstehen. Das komplementär abgetrennte Wasser wird dem Vorfluter zugeführt oder kann in verschiedenen Prozessabschnitten der

Müllverbrennungsanlage verwendet werden.

[0041] Aufgrund dieser beschriebenen Wäsche weist die derart gereinigte Schlacke einen Hauptkornanteil mit einem Korndurchmesser von mindestens 0,1 mm auf. Der Feuchtigkeitsanteil des Hauptkornanteils der Schlacke ist gering, weil sie wegen des fehlenden Feinanteils durch die Schwerkraft gut entwässert wird. Aufgrund der Abtrennung des Feinkornanteils ist es nicht erforderlich, die Schlacke abzulagern, um die Carbonatisierungs- und Sulfatreaktionen und damit die Raumbeständigkeit abzuwarten. Die gereinigte Schlacke kann vielmehr umgehend als Baustoff zum Einsatz kommen.

[0042] Befindet sich der Hauptkornanteil wie erwähnt innerhalb des Toleranzintervalls einer Siebkennlinie, wie sie beispielsweise in Figur 3 abgebildet ist, kann der Hauptkornanteil direkt zur Substitution von Baustoffen eingesetzt werden. Weist der Hauptkornanteil Anteile außerhalb des Toleranzintervalls der gewünschten Siebkennlinie auf, kann der fehlende Hauptkornanteil gleich oder später zugemischt werden. Für andere Anwendungszwecke ist es aber auch sinnvoll, die gereinigte Schlacke in unterschiedliche Korngrößenbereiche zu trennen. Beispielsweise durch Sieben kann der Hauptkornanteil der Schlacke in einem weiteren Verfahrensschritt zum Beispiel in einen Bereich kleinerer, mittlerer und größerer Korngrößen aufgeteilt werden. Die einzelnen Korngrößen können getrennt vermarktet und beispielsweise als Zusatzstoffe und/oder Füllstoffe verwendet werden oder sie können später entsprechend den geforderten Masseanteilen insbesondere durch Abwägung der einzelnen Anteile für die erforderliche Siebkennlinie zusammen gemischt werden.

[0043] Der in **Figur 2** schematisch dargestellte Verfahrensablauf zur Aufbereitung von Schlacke, insbesondere aus Müllverbrennungsanlagen, umfasst eine vorteilhafte Verkopplung von bevorzugten Verfahrensabschnitten.

[0044] Der einleitende Verfahrensabschnitt der Schlackewäsche unterteilt sich in die Unterabschnitte der Schwertwäsche, der Schneckenwäsche (insbesondere Sandschnecke) und der Abtrennung der Suspension, wobei dem Fachmann sowohl die Schwert- als auch die Schneckenwäsche aus der Kiesaufbereitung bekannt sind. Die aus der Müllverbrennungsanlage stammende Schlacke wird der Schwertwäsche ebenso zugeführt wie das Waschwasser. In diesem ersten Waschvorgang durchmischen mehrere Schwertwerter, die auf einer rotierenden Welle befestigt sind, die Schlacke und das Wasser in einem schräg angeordneten Trog. Die Schwertwäsche erfolgt vorzugsweise kontinuierlich im Gegenstromverfahren. Entsprechend der Anordnung aus Figur 2 wird die Schwertwäsche insbesondere zur Vorreinigung der Schlacke verwendet, denn ausgangsseitig wird der erste Abgangsmassenstrom bestehend aus gröberem Hauptkornanteil und Wasser, zur Abtrennung des Wassers weitergeleitet, wohingegen der zweite Abgangsmassenstrom bestehend aus Wasser, Feinkornanteil sowie dem zumeist feineren Hauptkornanteil an die Schneckenwäsche (insbesondere Sandschnecke) weitergeleitet wird.

[0045] In der Schneckenwäsche (insbesondere Sandschnecke) wird der zweite Abgangsmassenstrom in den Feinkornanteil mit Wasser und in den anteiligen Hauptkornanteil mit Wasser getrennt, wobei die letztere Suspension zusammen mit der Suspension aus der Schwertwäsche in den letzten Schritt, die Abtrennung des Wassers, eintritt. Das abgetrennte Wasser wird der Suspension aus Feinkornanteil und Wasser zugeführt.

[0046] Die Endprodukte der Schlackewäsche sind der Hauptkornanteil der Schlacke mit allen Korndurchmessern größer/gleich 0,1 mm, sowie die Suspension aus Wasser und dem Feinkornanteil der Schlacke mit Korndurchmesser kleiner als 0,1 mm.

[0047] Von dem Hauptkornanteil werden durch einen weiteren Verfahrensschritt sekundäre Bestandteile wie beispielsweise Glas oder Metall abgetrennt. Die anzuwendenden Methoden hängen deutlich von den sekundären Bestandteilen ab. In diesem Zusammenhang ist beispielsweise eine optische Methode sinnvoll, die aufgrund unterschiedlicher Lichtbrechungen die Schlacke vom Glasanteil unterscheiden und trennen kann. Andere Methoden, die auf magnetischen Wechselwirkungen beruhen oder die die unterschiedlichen Dichten von Schlacke und den sekundären Bestandteilen nutzen, sind zum Beispiel auch geeignet, um Metalle abzutrennen.

[0048] Die Beurteilung für die Verwendung der gereinigten Schlacke in späteren Einsatzgebieten erfolgt im Allgemeinen durch eine Analyse der Korngrößenverteilung, die erfindungsgemäß vorzugsweise der Verteilung für den Einsatz im Hoch- und/oder Tiefbau entspricht und durch ein Toleranzintervall um eine für den jeweiligen Einsatzzweck festgelegte Siebkennlinie begrenzt wird, und zwar insbesondere um eine dem Baugewerbe angepasste Siebkennlinie, wie sie beispielhaft in **Figur 3** dargestellt ist. Eine Siebkennlinie zeigt bekannterweise den Siebdurchlass gegenüber der Maschenweite des Siebes. Ein Toleranzintervall, bestehend aus dessen Ober- und Untergrenze um eine gewünschte Siebkennlinie trägt dabei der grundsätzlich zulässigen Toleranz entsprechend der bauphysikalischen Anforderungen Rechnung.

[0049] Die nur als Beispiel in Figur 3 dargestellte Siebkennlinie etwa enthält die folgenden Anweisungen für Toleranzintervalle bestimmter durch die Maschenweite definierter Korngrößen: für eine Maschenweite von 0,06 mm einen Toleranzbereich von 0 Gew.-% bis 7 Gew.-% sowie bevorzugt einen Siebdurchlass von ca. 0,7 Gew.-%, für eine Maschenweite von 0,5 mm einen Toleranzbereich von 5 Gew.-% bis 35 Gew.-% sowie bevorzugt einen Siebdurchlass von 10 Gew.-%, für eine Maschenweite von 2 mm einen Toleranzbereich von 16 Gew.-% bis 47 Gew.-% sowie bevorzugt einen Siebdurchlass von 31,5 Gew.-% und für eine Maschenweite von 16 mm einen Toleranzbereich von 55 Gew.-% bis 85 Gew.-% sowie bevorzugt einen Siebdurchlass von 70 Gew.-%.

[0050] Weitere Beispiele für Siebkennlinien oder Siebkennlinienbereiche finden sich in der Literatur "Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau" herausgegeben unter der ISBN 3-937356-53-3 von der "Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln" etwa für Frostschutzschichten im eingebauten Zustand zum Beispiel: "Frostschutzschicht 0/8", "Frostschutzschicht 0/11", "Frostschutzschicht 0/16", "Frostschutzschicht 0/22", "Frostschutzschicht 0/32", "Frostschutzschicht 0/45", "Frostschutzschicht 0/56" oder "Frostschutzschicht 0/63" oder für Kies- und Schottertragschichten im eingebauten Zustand zum Beispiel: "Kies- und Schottertragschicht 0/32", "Kies- und Schottertragschicht 0/32 - STSuB", "Kies- und Schottertragschicht 0/45" oder "Kies- und Schottertragschicht 0/56" oder Siebkennlinienbereiche für Deckschichten ohne Bindemittel im eingebauten Zustand zum Beispiel: "Deckschicht ohne Bindemittel 0/11", "Deckschicht ohne Bindemittel 0/16", "Deckschicht ohne Bindemittel 0/22" oder "Deckschicht ohne Bindemittel 0/32".

[0051] Mögliche Prozessgrößen und/oder -parameter, durch die der Waschprozess geregelt und/oder gesteuert wird, um das erfindungsgemäße Auswaschen der Partikel $\leq 0,1$ mm zu gewährleisten, können ein Volumenstrom und/oder eine Strömungsgeschwindigkeit und/oder eine Strömungsrichtung des Waschwassers jeweils in Bezug zur Schlacke und/oder davon und/oder von einer Kontur einer Strömungsbahn (zum Beispiel veränderbare Einströmungsrichtungen des Wasser) sein.

[0052] Damit der Hauptkornanteil der Schlacke, insbesondere unabhängig von den eintretenden Volumenströmen der Schlackewäsche, eine gewünschte Siebkennlinie, vorzugsweise eine dem Straßenbau angepassten Siebkennlinie, aufweist, werden Prozessgrößen und -parameter, so wie beispielsweise auch die zugeführten Wasser- und Schlackemengen und/oder Wellendrehzahl der Schwertwäsche und/oder die mittlere Schwingungsfrequenz der Vertikalsetzmaschine der Regelungs- und Steuereinheit übermittelt. Aufgrund dieser Informationen verändert die Regelungs- und/oder Steuereinheit Prozessgrößen und -parameter mit dem Ziel, sowohl die gewünschte Siebkennlinie des Hauptkornanteils der Schlacke insbesondere im Bereich der kleineren Korngrößen nicht zu verlassen (oder wohlmöglich sogar die Korngrößenanteile entsprechend einzustellen), als auch den Feinkornanteil $\leq 0,1$ mm vom Hauptkornanteil der Schlacke zu trennen.

[0053] Eine geeignete Stellgröße stellt die Flüssigkeitszufuhr, sowohl für die Schwert- als auch für die Schneckenwäsche (insbesondere Sandschnecke), dar. Mit einem sehr geringen Stellaufwand kann die Qualität der Schlacke sehr schnell verbessert und ein vorteilhafter Kompromiss zwischen Aufwand und Ergebnis erreicht werden.

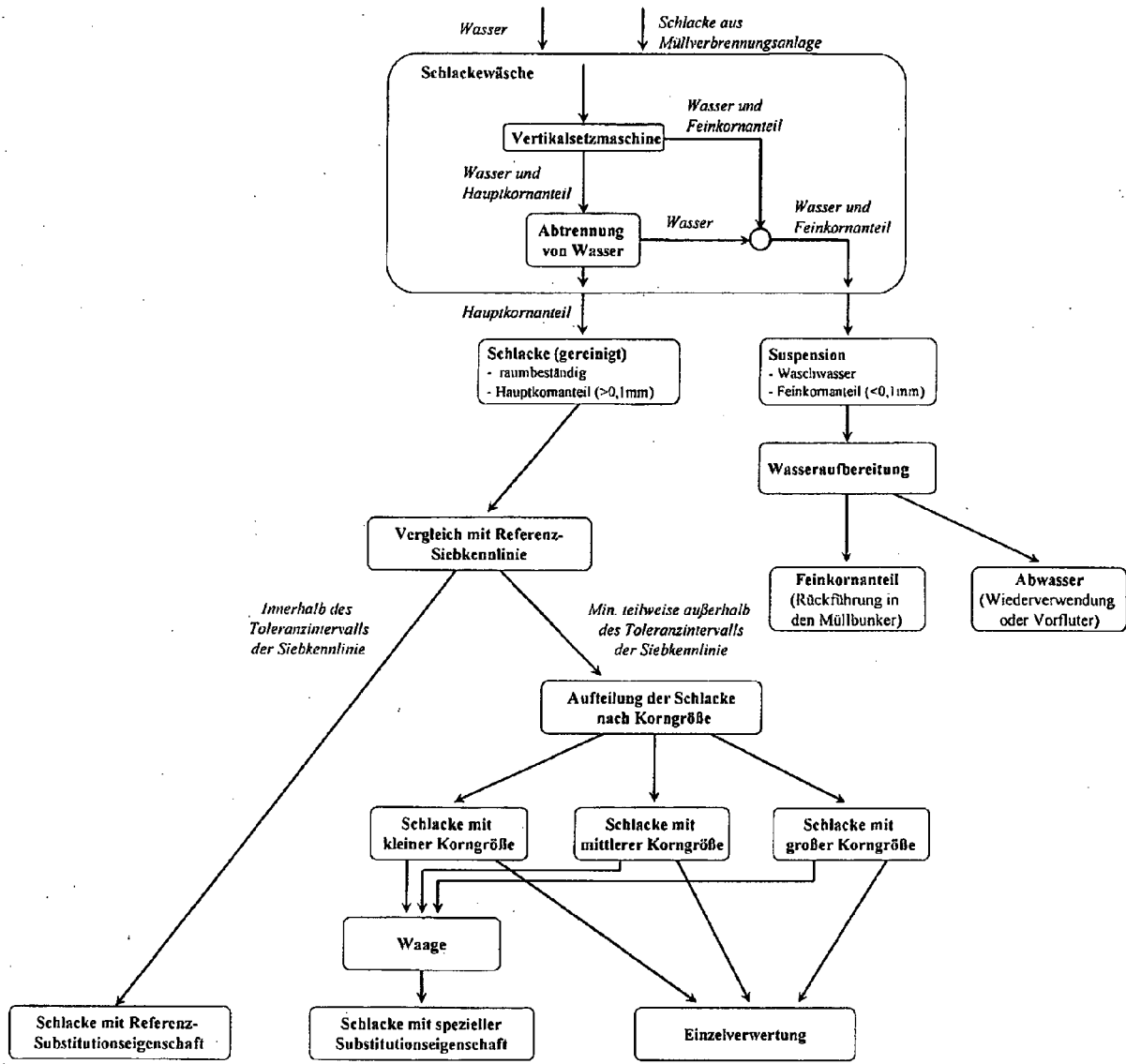
[0054] Bei geeignet eingestellter Regelung und/oder Steuerung weist die gereinigte Schlacke im wesentlichen ausschließlich den Hauptkornanteil der Schlacke auf, wobei diese vorzugsweise nur um Korndurchmesser kleiner/gleich $0,1$ mm bereinigt ist, deshalb raumbeständig ist und der gewünschten Siebkennlinie entspricht - so dass diese gereinigte Schlacke unmittelbar nach der Aufbereitung und/oder nach hinreichender Entwässerung im Straßenbau verwendet werden kann.

Patentansprüche

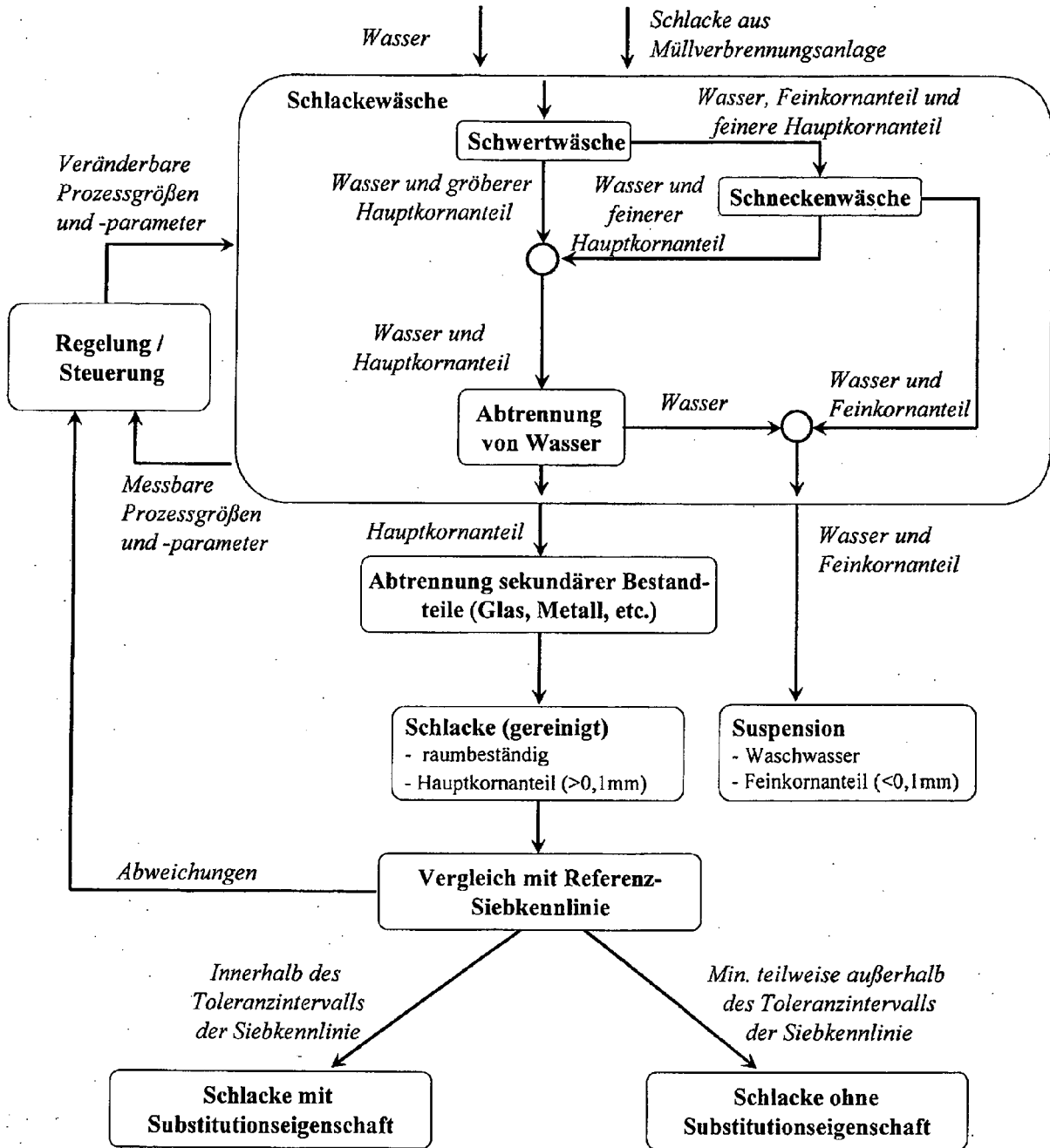
1. Verfahren zur Herstellung eines, insbesondere verdichtungsfähigen und/oder raumbeständigen, Schlackegranulats aus Abfallverbrennungsschlacke, insbesondere für den Hoch- oder Tiefbau, **dadurch gekennzeichnet,**
 - dass** Schlackeanteile mit einem Korndurchmesser kleiner als $0,1$ mm (Feinkornanteil) vorzugsweise durch eine Schwertwäsche und/oder vorzugsweise durch eine Schneckenwäsche, insbesondere Sandschnecke, im Wesentlichen ausgewaschen werden, wobei dieser Feinkornanteil um mindestens 50%, insbesondere um mindestens 75% bis 95%, vorzugsweise um mindestens 80%, 85% oder 90 % reduziert wird.
2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kornanteil der Schlacke im Bereich noch feiner Körnung ($0,1$ mm bis $2,0$ mm) im Wesentlichen unverändert bleibt.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kornanteil der Schlacke mit einem Korndurchmesser größer oder gleich $0,1$ mm im Wesentlichen unverändert bleibt.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Feinkornanteil mit einem Waschwasser beim Waschen abgeführt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch eine geregelte und/oder gesteuerte Abstimmung des Waschprozesses die gewaschene Schlacke eine Korngrößenverteilung aufweist, welche durch ein Toleranzintervall um eine Siebkennlinie, vorzugsweise um eine dem Straßenbau angepasste Siebkennlinie, begrenzt wird.

EP 2 062 647 A2

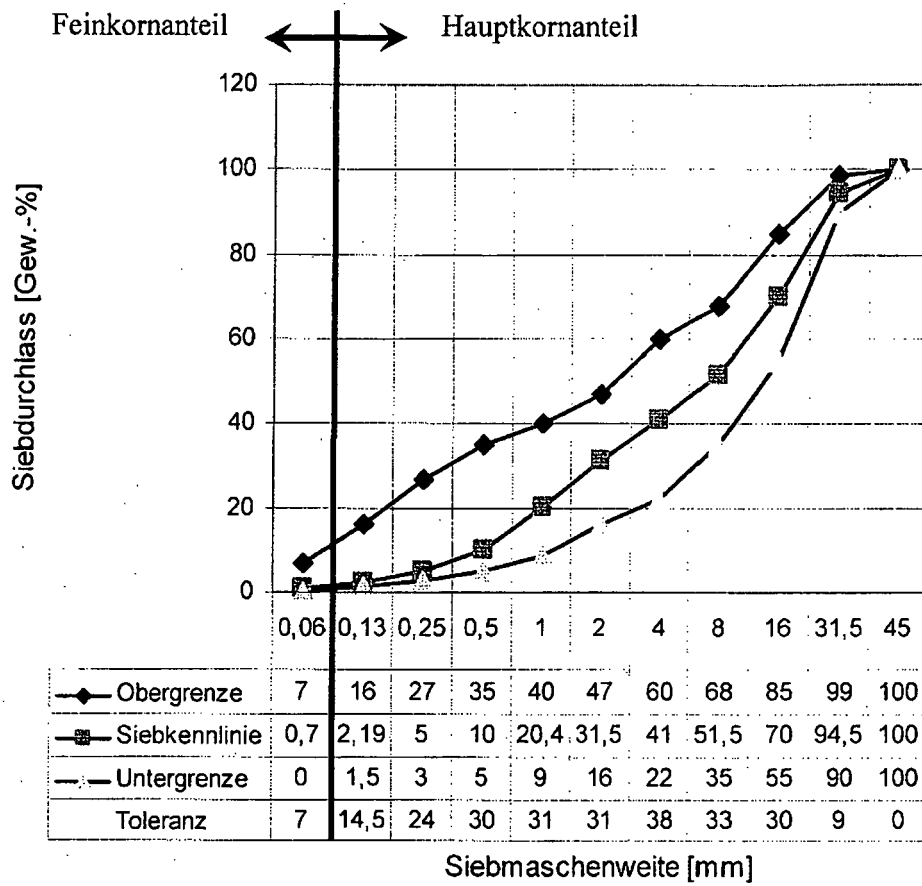
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Waschen in Abhängigkeit von Prozessgrößen und/oder -parametern geregelt und/oder gesteuert wird und dass insbesondere durch eine Steuerung und/oder Regelung die Reduzierung des Feinkornanteils einstellbar ist.
- 5 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Prozessgrößen- und/oder -parameter ein Volumenstrom und/oder eine Strömungsgeschwindigkeit und/oder eine Strömungsrichtung des Waschwassers jeweils in Bezug zur Schlacke sind und/oder davon und/oder von einer Kontur einer Strömungsbahn abhängen.
- 10 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelung und/oder Steuerung der Wäsche durch Veränderung der Flüssigkeitszufuhr, der Schlackezufuhr und/oder durch Veränderung anderer Prozessparameter und/oder -größen erfolgt und insbesondere durch eine Steuerung und/oder Regelung der Flüssigkeitszufuhr und/oder der Drehzahl einer Schwert- und/oder Schneckenwäsche und/oder der Drehzahl einer Schneckenwäsche, insbesondere einer Sandschnecke und/oder der Frequenz der Schwingungen einer Vertikalsetzmaschine erfolgt.
- 15 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wäsche hydrodynamisch und/oder mechanisch, insbesondere durch eine Schwertwäsche und/oder eine Schneckenwäsche, insbesondere eine Sandschnecke und/oder unter Einsatz einer Setzmaschine, vorzugsweise einer Vertikalsetzmaschine, durchgeführt wird.
- 20 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Waschen in mehreren Prozessschritten, vorzugsweise in direkt aufeinander folgenden Schritten durchgeführt wird.
- 25 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schlacke von sekundären Bestandteilen wie Glas, Metall, Plastik, Holz, Textilien und/oder anderen Störstoffen in mindestens einem separaten und/oder integrierten, vorzugsweise nach geschalteten Prozessschritt getrennt wird.
- 30 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der sekundäre Glasbestandteil der Schlacke optisch erkennbar und/oder erkannt und/oder pneumatisch abgetrennt wird.
- 35 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch das Waschen auch die an Glasbestandteilen der Schlacke anhaftenden Schlackepartikel im Wesentlichen in das Waschwasser suspendiert werden.
- 40 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Waschwasser vorzugsweise nach einer Wiederaufbereitung insbesondere intern rezirkuliert und/oder für andere Prozessschritte insbesondere zur Abgasreinigung verwendet wird und/oder dem Vorfluter zugeführt wird.
- 45 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schlacke in mindestens einem separaten und/oder integrierten, vorzugsweise nach geschalteten Prozessschritt in verschiedene Korngrößen insbesondere durch Siebung in Einzelfraktionen aufgeteilt wird.
- 50 16. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus Einzelfraktionen der gewaschenen Schlacke Gemische mit bestimmten Siebkennlinien hergestellt werden.
- 55



Figur 1



Figur 2



Figur 3