

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Februar 2020 (27.02.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/038992 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G05B 19/4063 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/072361

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. August 2019 (21.08.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 214 329.3
24. August 2018 (24.08.2018) DE

(71) Anmelder: **THYSSENKRUPP INDUSTRIAL SOLUTIONS AG** [DE/DE]; ThyssenKrupp Allee 1, 45143 Essen (DE). **THYSSENKRUPP AG** [DE/DE]; ThyssenKrupp Allee 1, 45143 Essen (DE).

(72) Erfinder: **SZCZELINA, Piotr**; Sunderkamp 8, 59269 Beckum (DE). **SILBERMANN, Falk**; Am Königskamp 10, 59071 Hamm (DE). **PAPAJEWSKI, Nicolai**; Herzogs-tr. 4, 44651 Herne (DE).

(74) Anwalt: **THYSSENKRUPP INTELLECTUAL PROPERTY GMBH**; ThyssenKrupp Allee 1, 45143 Essen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,

HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR OPERATING A CRUSHING PLANT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUM BETRIEB EINER BRECHANLAGE



Fig. 1b

(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for operating a processing plant for crushing substantially rock-type material, wherein the processing plant comprises at least one crushing stage (420, 455, 487) and at least one screening stage (405, 445, 485, 497), and wherein processing operations of the processing plant are calculated, in particular, on the basis of a simulation involving discrete elements of the material (430 - 440, 470 - 480, 491 - 495), wherein individual material particles are used as a basis, the material particles are taken into account as a substitution model during the simulation (430, 470, 491), and the results of the simulation are taken into account during the operation stage or planning stage of the processing plant (420, 455, 487).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zum Betreiben einer Aufbereitungsanlage zum Zerkleinern von im Wesentlichen steinförmigem Material, wobei die Aufbereitungsanlage wenigstens eine Zerkleinerungsstufe (420, 455, 487) und wenigstens eine Sortierstufe (405, 445, 485, 497) aufweist, und wobei insbesondere vorgesehen ist, dass Aufbereitungsprozesse der Aufbereitungsanlage anhand einer auf diskreten Elementen des Materials beruhenden Simulation berechnet werden (430 - 440, 470 - 480, 491 - 495), wobei einzelne Materialpartikel zugrunde gelegt werden, wobei die Materialpartikel als Ersatzmodell bei der Simulation berücksichtigt werden (430, 470, 491) und wobei die Ergebnisse der Simulation beim Betrieb oder bei der Planung der Aufbereitungsanlage berücksichtigt werden (420, 455, 487).



WO 2020/038992 A1

Beschreibung

Verfahren und Einrichtung zum Betrieb einer Brechanlage

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Aufbereitungs- bzw. Brechanlage zum Zerkleinern von steinförmigem Material, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind auch ein Computerprogramm, ein maschinenlesbarer Datenträger zur Speicherung des Computerprogramms und eine Einrichtung, mittels derer das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist.

10

Stand der Technik

Hier betroffene Materialien, z.B. Steine oder Erze, werden meist in einem Steinbruch gewonnen. Dort wird das Material entweder durch Sprengungen oder mit schweren Maschinen gelockert und anschließend mit Rad-Schaufelladern und Schwerlastkraftwagen zu einer Brechanlage transportiert und dort zerkleinert. Im Fall einer Zementerzeugung kann das Material dabei zusammen mit Zusatzstoffen zu Schotter zerkleinert werden. Das so zerkleinerte Material wird dann über Förderbänder in ein Zwischenlager gebracht.

20

Hier betroffene Brechanlagen bestehen im Allgemeinen aus mehreren Brech-, Sieb- und Transportstufen. Die Auslegung der einzelnen Stufen der Brechanlage bei ihrer Planung wird meist anhand von Modellberechnungen auf der Grundlage sogenannter „Kontinuums“-Modelle durchgeführt. Diese Modelle basieren meist auf empirischen Erfahrungswerten oder empirischen Formeln, bei denen Einflussgrößen wie die Feinheit, Feuchte oder Härte des Materials mit Korrekturfaktoren eingerechnet werden.

25

Bei diesen an sich bekannten Modellberechnungen einer hier betroffenen Brechanlage werden allerdings keine Einzelaggregate der Anlage, z.B. anhand einer Diskrete-Elemente-Methode- (DEM)-Simulation, berechnet. Solche Berechnungen erfolgten bislang nur an solchen Einzelaggregaten selbst, d.h. separat von einer Brechanlage. Zudem stoßen diese Berechnungsmethoden bei komplexen Projektanforderungen hier betroffener Aufbereitungsanlagen oft an ihre Grenzen.

30

In vielen Bereichen der Materialaufbereitung im Tagebau ist der maschinelle Aufschluss von Festgestein ein essentieller Bestandteil in der Verarbeitungskette. Es ist daher von großer Bedeutung die im Bruchprozess auftretenden Lasten realistisch zu prognostizieren. Die Ab-

35

bildung des Bruchprozesses in einem Simulationsmodell ist jedoch sehr komplex, was vor allem an dem meist stark inhomogenen Material liegt. Ein viel versprechender Ansatz, um das Materialverhalten in der Lastprognose zu berücksichtigen, ist die numerische Simulation des Materialbruchverhaltens mit Hilfe der genannten DEM-Simulation.

5

Bei einer DEM-Simulation wird bekanntermaßen eine reale, unregelmäßige Gesteinsgeometrie durch diskrete Partikel abgebildet. Bevorzugt wird eine Kugel mit definiertem Radius und Dichte verwendet, weil sie am einfachsten eine Kontakterkennung im Raum ermöglicht. Zusätzlich werden bei einer realen Gesteinskörnung auftretende Inhomogenitäten nachgebildet.

10

Dies gelingt dadurch, dass das Kontaktmodell aus jeweils einem Modell zur Materialdeformation, der Gleitreibung, dem Rollwiderstand und der Kohäsion zusammengesetzt wird. Auf diese Weise lässt sich das Verhalten der runden Partikel dem von Schüttgütern unregelmäßiger Geometrie anpassen.

15

Für die Simulation von hier betroffenen Festkörpern wird das genannte Kontaktmodell zusätzlich nach dem Superpositionsprinzip um ein sogenanntes „Bond“-Modell (meist ein Balken mit Kreisquerschnitt) erweitert. Dem Festkörperverhalten entsprechend sind die zwischen den Partikeln implementierten Bonds in der Lage, Kräfte und Momente aufzunehmen. Zudem können die Bonds bei Überschreitung einer definierten Belastung „brechen“.

20

Basierend auf den grundlegenden Modellen wird ein bruchfähiger DEM-Gesteinskörper aus einer Vielzahl von Partikeln und Bonds aufgebaut. Dabei erfolgt auch eine Kalibrierung der Parameter des Kontakt- und Bondmodells, so dass die makroskopischen Gesteinsmerkmale, wie Bruchkraft, Steifigkeit, Zähigkeit, Korngrößeneffekte und das Bruchbild, realistisch nachgebildet werden.

25

Alternativ dazu gibt es auch einen Modellansatz, bei dem ein genannter DEM-Gesteinskörper monolithisch ausgebildet ist und dieser Gesteinskörper bei einer Verformung gemäß einer entsprechenden Bruchfunktion als Ganzes zerbricht.

30

Offenbarung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, in einer hier betroffenen Aufbereitungs- bzw. Brechanlage zum Zerkleinern von im Wesentlichen steinförmigem Material vorhandene einzelne Materialpartikel einer diskreten Betrachtung (DEM-Simulation) zuzuführen.

35

Es ist hierbei anzumerken, dass eine solche Aufbereitungsanlage neben Brechwerkzeugen auch weitere Aggregate bzw. Maschinen, z.B. Sortiermaschinen, umfasst. Die Materialparti-

kel werden dabei als Ersatzmodell in einem Prozess simuliert und unterliegen dabei den jeweils gültigen physikalischen Gesetzen beim Transport, bei der Sortierung und bei der Zerkleinerung.

- 5 Es ist ferner anzumerken, dass vorliegend bei der DEM-Simulation eine reale unregelmäßige Gesteinsgeometrie durch diskrete Partikel abgebildet wird, wobei anstelle einer genannten Kugel auch andere geometrische Körperformen verwendet werden können. So kann z.B. ein Ellipsoid, ein Oktaeder oder bevorzugt sogar unregelmäßige Partikelformen bzw. räumlich beliebig unregelmäßig ausgeformte Partikel verwendet werden. Dadurch lassen sich bei ei-
- 10 ner realen Gesteinskörnung auftretende Inhomogenitäten noch präziser nachbilden.

- Bei dem erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahren zum Betreiben einer Aufbereitungsanlage zum Brechen von im Wesentlichen steinförmigem Material, wobei die Aufbereitungsanlage wenigstens eine Zerkleinerungsstufe und wenigstens eine Sortierstufe aufweist, wer-
- 15 den Aufbereitungsprozesse der Aufbereitungsanlage anhand einer auf diskreten Elementen des Materials beruhenden Simulation berechnet, wobei einzelne Materialpartikel zugrunde gelegt werden, wobei die Materialpartikel als Ersatzmodell bei der Simulation berücksichtigt werden und wobei die Ergebnisse der Simulation beim Betrieb bzw. bei der Optimierung einer bestehenden Aufbereitungsanlage oder bei der Planung einer neuen Aufbereitungsanla-
- 20 ge berücksichtigt werden.

- Bei dem vorgeschlagenen Verfahren können für die Materialpartikel gültige physikalische Gesetze beim Transport und/oder bei der Sortierung und/oder bei der Zerkleinerung berücksichtigt werden.

- 25 Bei der Simulation der Zerkleinerung kann insbesondere eine sogenannte Bruchfunktion eingerichtet werden. Die Bruchfunktion bestimmt das Verhalten der Gesteinspartikel bei der jeweiligen Beanspruchung im Bereich Raum der Maschine und liefert im Ergebnis die jeweils vorliegenden Reaktionskräfte, die Bruchenergie so sowie die die nach einer Beanspruchung der Gesteinspartikel vorliegende Verteilung der jeweiligen Bruchstücke. Dadurch kann für
- 30 jede vorgegebene Maschine der Durchsatz des jeweiligen Bruchmaterials sowie die bei der Brechung von dem jeweiligen Gesteinspartikel aufgenommene Energie ermittelt werden.

- Zur erforderlichen Parametrierung bzw. Kalibrierung von DEM-Modellen können bekanntermaßen Simulationsergebnisse mit Messwerten, welche zuvor in realen Experimenten ermittelt wurden, verglichen und ein Maß für die Abweichung der Ergebnisse berechnet werden.
- 35

Anschließend werden die Modellparameter mit Hilfe eines Optimierungsverfahrens so lange variiert, bis sie möglichst weitgehend übereinstimmen.

Insgesamt kann mit dem vorgeschlagenen Verfahren auch der Durchsatz und die Energieaufnahme für eine ganze Aufbereitungs- bzw. Brechanlage ermittelt werden. Denn das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht die DEM-Modellierung einer gesamten Aufbereitungs- bzw. Brechanlage. Somit können die Planung und die Auslegung z.B. einer entsprechend großen Erzaufbereitungsanlage, aber auch in der Natursteinindustrie eingesetzte Brechanlagen, vereinfacht und genauer oder präziser durchgeführt werden.

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren kann vorgesehen sein, dass bei der Berechnung des Aufbereitungsprozesses in einer Lagerstätte gesprengtes Material wenigstens einer Aufbereitungsstufe zugeführt wird, wobei für das abgesprengte Material für die diskrete Berechnung der Simulation, insbesondere auf der Grundlage einer realen Sprengverteilung, Ersatzpartikel gebildet werden.

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren kann ferner vorgesehen sein, dass bei der Berechnung des Aufbereitungsprozesses Parameter berücksichtigt werden, welche in einer getrennten Berechnungsschleife ermittelt werden. Bei der getrennten Berechnungsschleife kann die Korngröße der Ersatzpartikel berechnet werden, auf der Grundlage der berechneten Korngröße ein mechanischer Belastungstest berechnet werden und auf der Grundlage der Ergebnisse des mechanischen Belastungstests eine Bruchfunktion berechnet werden.

Es ist anzumerken, dass mittels des vorgeschlagenen Verfahrens auch bereits bestehende Brechanlagen mittels der anhand der genannten Simulation nachträglich angepasst bzw. verbessert werden können, wobei die Simulation parallel zu einem Brechprozess durchgeführt werden kann. Die genannte Anpassung kann dadurch erfolgen, dass eine genannte Bruchfunktion so lange verändert werden, bis die Simulation dem realen Prozess möglichst genau entspricht.

Durch Kopplung der genannten Simulation mit einer sich ständig veränderbaren Aufgabezusammensetzungen einer hier betroffenen Brechanlage kann die Simulation entsprechend dynamisch durchgeführt werden. Dadurch können zusätzlich in dem Bereich-, Transport- und/oder Sortierprozess auftretende Anomalien präzise erfasst werden.

Das vorgeschlagene Verfahren kann auch zur Steuerung einer Brechanlage eingesetzt werden, wobei mittels der Simulation festgestellt wird, ob z.B. bei einer sich verändernden Mate-

rialaufgabe die Geschwindigkeit der Transport-, Klassier- und Zerkleinerungsprozesse verändert oder angepasst werden muss. Denn ein relativ grobes Aufgabematerial verlangsamt den Zerkleinerungsprozess, wohingegen ein relativ feines Aufgabematerial die Brechanlage aufgrund der zu langsamen Geschwindigkeiten der Aggregate der Brechanlage mit Material überschütten kann. Bei heutigen Brechanlagen werden solche Materialschwankungen mittels eines Zwischenmateriallagers bzw. eines Zwischenbunkers ausgeglichen. Mit dem vorgeschlagenen Verfahren kann somit auf ein solches Zwischenmateriallager zumindest teilweise oder sogar ganz verzichtet werden, wodurch die gesamte Brechanlage insgesamt kostengünstiger herstellbar und auch kostengünstiger betreibbar ist.

Die erfindungsgemäß ebenfalls vorgeschlagene Einrichtung ist insbesondere eingerichtet, eine hier betroffene Brechanlage mittels des vorgeschlagenen Verfahrens zu steuern.

Die Erfindung kann insbesondere in einer zur Erzgewinnung oder Steingewinnung einsetzbaren Brechanlage zur Anwendung kommen.

Das erfindungsgemäße Computerprogramm ist eingerichtet, jeden Schritt des Verfahrens durchzuführen, insbesondere wenn es auf einem Rechenggerät oder einem Steuergerät abläuft. Es ermöglicht die Implementierung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf einem elektronischen Steuergerät, ohne an diesem bauliche Veränderungen vornehmen zu müssen. Hierzu ist der maschinenlesbare Datenträger vorgesehen, auf welchem das erfindungsgemäße Computerprogramm gespeichert ist. Durch Aufspielen des erfindungsgemäßen Computerprogramms auf eine Einrichtung bzw. ein entsprechendes elektronisches Steuergerät wird die erfindungsgemäße Einrichtung erhalten, welches eingerichtet ist, um eine hier betroffene Brechanlage mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens zu betreiben bzw. den entsprechenden Brechbetrieb zu steuern.

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

Es versteht sich, dass die voranstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweiligen angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Figuren 1a, b zeigen an sich bekannte Berechnungsmethoden anhand einer Bruchfunktion nach einem Kontinuum-Modell (a.) und einem diskreten DEM-Modell (b.).

5 Figuren 2a, b zeigen typische Verformungen einer unregelmäßigen Materialprobe mittels an sich bekannter Brechwerkzeuge, und zwar eines flachen Werkzeugs (a.) und eines spitzen Werkzeugs (b.).

10 Figur 3 zeigt ein Verfahren zum Betreiben einer Brechanlage, gemäß dem Stand der Technik, anhand eines Block- bzw. Flussdiagramms.

Figur 4 ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand eines Block-/Flussdiagramms.

Beschreibung von Ausführungsbeispielen

15

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben einer hier betroffenen Brechanlage bzw. ein entsprechender Brechprozess wird nachfolgend am Ausführungsbeispiel einer bei der Erzgewinnung eingesetzten Brechanlage beschrieben. Das Verfahren und die Einrichtung können allerdings auch bei anderweitig eingesetzten Brechanlagen, z.B. bei Brechanlagen zur Stein-/Natursteingewinnung oder bei der Zementherstellung, entsprechend angewendet werden.

20

Eine hier betroffene Brechanlage besteht meist aus mehreren Brech-, Sieb- und Transportstufen. Alle diese Prozessstufen können mittels einer Diskrete-Elemente-Methode (DEM) gemeinsam modelliert werden. Der für die Modellierung am meisten beeinflussbare Prozessanteil stellt dabei das Brechen des Materials sowie vor allem die dabei zugrunde gelegte Bruchfunktion der Steine dar. Die Bruchfunktion muss daher für jede Brechstufe und für jedes Material getrennt ermittelt werden.

25

30 Nach einer korrekt erfolgten Ermittlung der jeweiligen Bruchfunktion und nach dem Einlesen der Bruchfunktion in ein DEM-Simulationsprogramm kann der Brechprozess, in an sich bekannter Weise, mit Materialdurchsätzen, Produktverteilungen sowie mit an den jeweiligen Aggregaten der Aufbereitungsanlage vorliegenden Lasten präzise abgebildet werden.

35 Die genannte Bruchfunktion kann wie folgt ermittelt werden:

Im Falle von Brechanlagen, bei denen die jeweiligen Materialien zur Zerkleinerung im Wesentlichen durch Druck belastet werden, beruht die Bruchfunktion bekanntermaßen auf sogenannten „Point Load Tests“ (PLT) sowie Druckfestigkeitstests, bei denen z.B. ein bewegliches, im Wesentlichen spitzes Brechwerkzeug auf eine jeweilige, meist unregelmäßige Materialprobe gedrückt wird. Die jeweiligen Materialproben, d.h. einzelne Steine, werden dabei wie in einem Brechraum einer Brechanlage mit unterschiedlicher Intensität belastet bzw. gedrückt. Diese Tests liefern dabei entsprechende Parameter, z.B. die Kraft und die Energie bis hin zu einem Bruch. Zusätzlich liefern diese Tests auch Informationen über die dabei erzeugten Bruchstücke.

Bei diesen Festigkeitsuntersuchungen besteht auch die Möglichkeit, jeweils angewendete Druckwerte entsprechend den unterschiedlichen Korngrößen der Materialproben zu verändern bzw. zu skalieren. Die genannten Parameter werden dabei für jede Brechstufe einzeln ermittelt, und zwar wie folgt:

1. Im Falle von an der jeweiligen Abbruchkante einer Miene abgesprengtem Haufwerk, d.h. natürlichem, noch nicht bearbeitetem sog. „ROM“-Material, wird die Bruchfunktion für eine erste Brechstufe anhand eines PLT-Druckfestigkeitstests ermittelt.
2. Für ein in der jeweils ersten Brechstufe gebrochenes Haufwerk von ROM-Material wird die Bruchfunktion für die jeweils nachfolgende zweite Brechstufe ebenfalls anhand eines PLT-Druckfestigkeitstests ermittelt.
3. Für ein in der jeweils zweiten Brechstufe gebrochenes Haufwerk wird die Bruchfunktion für die jeweils nachfolgende dritte Brechstufe ebenfalls aus dem PLT-Druckfestigkeitstest ermittelt.
4. Gegebenenfalls weitere Bruchfunktionen, z.B. für Mahlstufen zur Erzeugung von Korngrößen kleiner 10 mm, können allerdings nicht anhand von genannten PLT-Druckfestigkeitsversuchen ermittelt werden. Zur Ermittlung solcher Bruchfunktionen sind Lasten und Produktverteilungen z.B. aus einer Modell-Gutbett-Walzenmühle erforderlich.

Es ist hierbei anzumerken, dass alternativ die Bruchfunktion für eine erste Brechstufe wie beschrieben ermittelt werden kann und für eine wenigstens zweite Brechstufe lediglich entsprechend hochgerechnet werden kann, z.B. im Wege einer linearen oder nicht-linearen Extrapolation oder dergleichen.

Die Figuren 1a und 1b zeigen zwei unterschiedliche Berechnungsmethoden mit dabei zugrunde liegenden Bruchfunktionen im Vergleich, und zwar solche auf der Grundlage sogenannter „Kontinuum-Modelle“ sowie auf der Grundlage genannter DEM-Simulationen. Für die Auslegung der in den hier betroffenen Aufbereitungsanlagen befindlichen Aggregate werden im Stand der Technik in Figur 1a veranschaulichte Kontinuum-Modelle benutzt, wobei Materialpartikel im Aufbereitungsprozess als Kontinuum dargestellt werden. Die Figur 1a zeigt schematisch ein Brechwerkzeug 100 mit darin kontinuierlich angeordnetem, zu bearbeitendem Material 105. Die Kontinuum-Modelle stellen auf Basis von Praxiserfahrungen gebildete empirische Berechnungsformeln bereit. Einzelne Aggregate der Aufbereitungsanlage werden dabei allerdings nicht mit diskreten Methoden berechnet.

Die Berechnungsmethode anhand von Kontinuum-Modellen beruht bekanntermaßen meist auf stochastischen Strukturmodellen. Bei diesen werden auf Basis von Strukturanalysen bezüglich der diskreten Materialstruktur, insbesondere der Kornstruktur des Materials, und gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Bindemitteln zwischen diesen Körnern, über Punktprozesse bzw. sogenannte „Varonoi-Strukturen“ diskrete Elemente erzeugt und vernetzt.

Das mechanische Verhalten dieser Strukturelemente, d.h. Mineralkörner und Bindemittel, wird bekanntermaßen über Kontakt- und Volumen-Stoffgesetze abgebildet. Anhand einer numerischen DEM-Simulation von mechanischen Hochdruckbelastungen kann das Bruchverhalten der Gesteinsstruktur unter verschiedenen Hochdruckbelastungen im Mikrobereich realitätsnah abgebildet werden. Die Validierung der Simulationsergebnisse erfolgt durch Laborexperimente, bei denen in einem felsmechanischen Labor spezielle Festigkeitsuntersuchungen im Hochdruckbereich durchgeführt werden.

Bei der in Figur 1b schematisch gezeigten DEM-Simulation erfolgt im Aufbereitungsprozess eine diskrete Betrachtung von Ersatz-Materialpartikeln. In dem vorliegenden Beispiel werden bei der Simulation drei in einem Brechwerkzeug 110 angeordnete Ersatz-Materialpartikel 115, 120, 125 jeweils unterschiedlicher Größe und Form berücksichtigt.

In den Figuren 2a und 2b sind ein sogenannter „Point-Load Test“ (PLT) und ein Drucktest im Vergleich dargestellt.

Bei dem in Fig. 2a veranschaulichten Drucktest wird ein bewegliches, flaches Brechwerkzeug 200 angewendet, welches auf eine auf einer festen Unterlage 205 angeordnete, unregelmäßig ausgeformte Materialprobe 205 gedrückt wird. Diese Beaufschlagung mit einer vor-

gegebenen Hubverformung h (Bezugszeichen 215) ergibt einen entsprechenden Druck p an bzw. in der Materialprobe 205.

Bei dem in Fig. 2b veranschaulichten PLT-Versuch wird ein bewegliches, spitzes Brechwerkzeug 220 angewendet, welches auf eine auf einer entsprechend dem Brechwerkzeug 220 spitzten Unterlage 225 angeordnete, wiederum unregelmäßig ausgeformte Materialprobe 230 gedrückt wird. Die dabei erfolgende Hubverformung h (Bezugszeichen 235) ergibt auch hier einen entsprechenden Druck p an bzw. in der Materialprobe 230.

Die Bruchfunktion für eine DEM-Simulation umfasst bekanntermaßen wenigstens die folgenden drei physikalischen Größen bzw. funktionellen Zusammenhänge:

1. Die Reaktionsenergie $E(h)$ in Abhängigkeit von der Verformung h ;
2. die Reaktionskraft $F(h)$ des Materials in Abhängigkeit von der Verformung h ; und
3. die Verteilung $P(h)$ der Korngröße des Materials in Abhängigkeit von der Verformung h .

Bei den Tests werden die unregelmäßigen Materialproben, z.B. Gesteinsproben, an dem zunächst feststehenden Werkzeug positioniert und durch die Bewegung des beweglichen Werkzeuges verformt und zerdrückt. Dabei wird die Verformung unterschiedlich groß eingestellt. Zudem wird dabei insbesondere die Größe der Materialproben variiert und die Tests mit gleicher/ähnlicher Materialprobengröße wiederholt. Während der Tests wird die Reaktionskraft der Materialprobe gemessen. Zusätzlich wird die Größe der durch die Verformung entstehenden Bruchstücke gemessen.

Im Ergebnis wird die Bruchfunktion ermittelt, wobei Funktionen der Reaktionsenergie, Reaktionskraft und Korngrößenverteilung der Bruchstücke in Abhängigkeit von der Verformung und der Probengröße gebildet werden. Diese Funktionen werden dann für größere Korngrößen extrapoliert.

In der Figur 3 ist ein typisches funktionelles Blockschema bzw. Ablaufdiagramm einer Berechnung von Aufbereitungsprozessen in einer hier betroffenen Aufbereitungs- bzw. Brechanlage am Beispiel der Zementherstellung dargestellt. Es ist hervorzuheben, dass bei der Berechnung die einzelnen Aggregate (d.h. vorliegend die gezeigten Blöcke) der Anlage auch anders angeordnet bzw. kombiniert werden können. So kann bei der Berechnung auf die

dort gezeigte erste Sortierungsstufe 205 verzichtet werden. Die Aufbereitungsprozesse werden vorliegend, gemäß dem Stand der Technik, anhand eines Kontinuum-Modells berechnet.

- 5 Bei dem gezeigten Aufbereitungsprozess wird zunächst in der jeweiligen Lagerstätte gesprengtes Material 300 mittels an sich bekannter (nicht gezeigter) Fördertechnik zu einer ersten Sortierungsstufe 305 hin transportiert 310. So kann dieser Transport 310 mittels eines Transportkraftfahrzeugs oder eines Förderbandes erfolgen. In der ersten Sortierungsstufe 305 erfolgt eine auf dem Kontinuum-Modell beruhende empirische Berechnung des zu erwartenden Ergebnisses der ersten Sortierung. Abhängig vom Ergebnis der ersten Sortierung kann das Material danach ggf. an unterschiedliche Zerkleinerungsstufen weitergeleitet werden.

- 15 Bei der Berechnung wird das entsprechend vorsortierte Material zu einer ersten Zerkleinerungsstufe 315 hin transportiert 320, und zwar bevorzugt mittels eines Förderbandes. Die erste Zerkleinerungsstufe 315 weist ein genanntes Brechwerkzeug zum Zerkleinern des Materials 300 auf. In der ersten Zerkleinerungsstufe 315 erfolgt wiederum eine auf dem Kontinuum-Modell beruhende empirische Berechnung des zu erwartenden Ergebnisses der Zerkleinerung bzw. Brechung des Materials 300.

- 20 Bei der weiteren Berechnung wird das so zerkleinerte Material vorliegend zunächst in ein (nicht gezeigtes) erstes Zwischenlager transportiert 325 und aus diesem steuerbar einer zweiten Sortierungsstufe 330 zugeführt. Auch in der zweiten Sortierungsstufe 330 erfolgt eine auf dem Kontinuum-Modell beruhende empirische Berechnung des zu erwartenden Ergebnisses der zweiten Sortierung. Danach erfolgt vorliegend ein Transport 335 des so sortierten Materials zu einer zweiten Zerkleinerungsstufe 340, danach zu einer dritten Sortierungsstufe 345, danach zu einer dritten Zerkleinerungsstufe 350 und danach zu einer vierten Sortierungsstufe 355. Das dann vorliegende, zerkleinerte und inzwischen vierfach sortierte Material wird danach zu einem (nicht gezeigten) zweiten Zwischenlager transportiert 360 und von diesem steuerbar einer ersten Mahlstufe 365 zugeführt, in der für die Zementherstellung erforderliches, feinkörniges Material hergestellt wird.

- 35 Es ist hervorzuheben, dass bei den Aufbereitungsstufen 340, 345, 350, 355 sowie der ersten Mahlstufe 365 ebenfalls auf dem Kontinuum-Modell beruhende, empirische Berechnungen des jeweils zu erwartenden Ergebnisses der Zerkleinerung bzw. Sortierung durchgeführt werden.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt eine Berechnung eines hier betroffenen Aufbereitungsprozesses von steinförmigem Material in einer hier betroffenen Aufbereitungs- bzw. Brechanlage anhand einer diskreten Betrachtung bzw. DEM-Simulation des zu verarbeitenden Materials in jeder Stufe des Aufbereitungsprozesses. Dies ist in der Figur 4 veranschaulicht, in der die entsprechenden zusätzlichen Berechnungsschritte der jeweiligen DEM-Simulation dargestellt sind.

Das in der Figur 4 gezeigte funktionelle Blockschema bzw. Ablaufdiagramm einer hier betroffenen Aufbereitungs-/Brechanlage, wiederum am Beispiel der Zementherstellung, umfasst auch hier mehrere angenommene Maschinen bzw. Aggregate. Als Ergebnisse der jeweiligen DEM-Simulationsschritte werden in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel für jede Maschine bzw. jedes Aggregat der Aufbereitungs- bzw. Brechanlage folgende Parameter generiert:

- Materialdurchsatz in der Einheit [1.000 kg/h],
- Leistungsaufnahme in der Einheit [kW],
- Korngrößenverteilung der Aufgabematerials und Produktmaterials in der Einheit [mm/%],
- An dem Brechwerkzeug auftretende Lasten bzw. Kräfte in der Einheit [kN].

Auch ist bei der Figur 4 hervorzuheben, dass die einzelnen Aggregate (d.h. vorliegend die gezeigten Blöcke) der Anlage auch anders angeordnet bzw. kombiniert werden können. So kann dort bei der Berechnung auch auf die gezeigte erste Sortierungsstufe 405 verzichtet werden. Die Aufbereitungsprozesse in der gezeigten Anlage werden jedoch, im Gegensatz zum Stand der Technik, anhand einer DEM-Simulation berechnet.

Auch bei der in Figur 4 gezeigten diskreten Berechnung des Aufbereitungsprozesses wird zunächst in der jeweiligen Lagerstätte gesprengtes Material 400 zu einer ersten Sortierungsstufe 405 hin transportiert 410. Auch hier kann der Transport 410 mittels eines Transportkraftfahrzeugs oder eines Förderbandes erfolgen. Im Gegensatz zur Figur 3 wird bei der Berechnung auch das bei der Sprengung des Materials an der Lagerstätte jeweils abgesprengte Material im Rahmen der DEM-Simulation als dort zu berücksichtigende DEM-Ersatzpartikel (siehe Figur 1b) definiert bzw. gebildet.

In der vorliegend ersten Sortierungsstufe 405 erfolgt eine auf den DEM-Ersatzpartikeln beruhende DEM-Simulation des Sortierungsprozesses. Abhängig vom Ergebnis dieser ersten Sortierung, kann auch hier das jeweils vorliegende Material danach ggf. an unterschiedliche Zerkleinerungsstufen weitergeleitet werden.

Nach der Berechnung der ersten Sortierungsstufe 405 erfolgt ein Transport 415 der Ersatzpartikel in eine erste Zerkleinerungsstufe 420, in welcher der Zerkleinerungsprozess der DEM-Ersatzpartikel berechnet wird. Diese Berechnung erfolgt anhand von Parametern, welche in einer getrennten ersten Prozess- bzw. Berechnungsschleife 425 ermittelt werden. Dabei wird zunächst die Korngröße der DEM-Ersatzpartikel berechnet 430. Auf der Grundlage der so berechneten Korngröße wird ein anhand der Figuren 2a und 2b beschriebener Druck- und PLT-Test simulationstechnisch durchgeführt 435. Auf der Grundlage der Ergebnisse des so durchgeführten mechanischen Belastungstests wird eine beschriebene Bruchfunktion berechnet 440.

Die sich bei dem Zerkleinerungsprozess gemäß der ersten Zerkleinerungsstufe 420 ergebenden DEM-Ersatzpartikel werden mit oder ohne Zwischenlagerung einer zweiten Sortierungsstufe 445 transporttechnisch 450 zugeführt. Dabei erfolgt die DEM-Simulation einer Sortierung der dann vorliegenden DEM-Ersatzpartikel.

Die somit vorliegenden, zweifach sortierten DEM-Ersatzpartikel werden danach einer zweiten Zerkleinerungsstufe 455 transporttechnisch 460 zugeführt, in welcher wiederum der Zerkleinerungsprozess der DEM-Ersatzpartikel simuliert wird. Auch dabei werden zunächst die erforderlichen Parameter anhand einer zweiten Berechnungsschleife 465 berechnet, nämlich die dann vorliegende Korngröße 470 der DEM-Ersatzpartikel, die Simulation eines Druck- und PLT-Tests 475 sowie die Bestimmung bzw. Ermittlung einer entsprechenden Bruchfunktion 480.

Entsprechend wird mit einer anschließenden dritten Sortierstufe 485 und einer dritten Zerkleinerungsstufe 487 weiterverfahren und auch dort die für die DEM-Simulation erforderlichen Prozessparameter anhand einer dritten Berechnungsschleife 489 mit entsprechenden Berechnungsschritten 491, 493 und 495 ermittelt.

Die dann vorliegenden DEM-Ersatzpartikel werden in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel zudem einer vierten Sortierungsstufe 497 unterzogen. Schließlich werden die dann vorliegenden DEM-Ersatzpartikel einer ersten Mahlstufe 499 zugeführt. Danach können ggf. weitere Prozessstufen eingerichtet werden.

Das anhand von Figur 4 beschriebene Verfahren kann in Form eines Steuerprogramms für ein elektronisches Steuergerät zum Betrieb bzw. zur Steuerung einer hier betroffenen Aufbereitungs- bzw. Brechanlage oder in Form einer oder mehrerer entsprechender elektronischer

Steuereinheiten (ECUs) realisiert werden. Das beschriebene Verfahren kann aber auch in Form eines Computerprogramms zur Planung einer hier betroffenen neuen Aufbereitungs-/Brechanlage oder zur Optimierung einer hier betroffenen bestehenden Aufbereitungs-/Brechanlage realisiert werden.

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zum Betreiben einer Aufbereitungsanlage zum Zerkleinern von im Wesentlichen steinförmigem Material, wobei die Aufbereitungsanlage wenigstens eine Zerkleinerungsstufe (420, 455, 487) und wenigstens eine Sortierstufe (405, 445, 485, 497) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass Aufbereitungsprozesse der Aufbereitungsanlage anhand einer auf diskreten Elementen des Materials beruhenden Simulation berechnet werden (430 – 440, 470 – 480, 491 – 495), wobei einzelne Materialpartikel zugrunde gelegt werden, wobei die Materialpartikel als Ersatzmodell bei der Simulation berücksichtigt werden (430, 470, 491) und wobei die Ergebnisse der Simulation beim Betrieb der Aufbereitungsanlage berücksichtigt werden (420, 455, 487).
- 10
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Materialpartikel gültige physikalische Gesetze beim Transport und/oder bei der Sortierung und/oder bei der Zerkleinerung berücksichtigt werden (420, 455, 487).
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Simulation der Zerkleinerung eine Bruchfunktion zugrunde gelegt wird, welche das Verhalten der Materialpartikel bei einer mechanischen Beanspruchung beschreibt.
- 25 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Bruchfunktion bei der mechanischen Beanspruchung vorliegende Reaktionskräfte, die Bruchenergie und die nach einer Beanspruchung vorliegende Verteilung jeweiliger Bruchstücke beschreibt.
- 30 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Parametrierung bzw. Kalibrierung Ergebnisse der Simulation mit Messwerten, welche in realen Experimenten ermittelt werden, verglichen werden und Modellparameter an die Messwerte angepasst werden.
- 35 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassung der Modellparameter an die Messwerte anhand eines Optimierungsverfahrens erfolgt, wobei die Modellparameter variiert werden, bis diese mit den Messwerten möglichst übereinstimmen.

- 5 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Berechnung des Aufbereitungsprozesses in einer Lagerstätte gesprengtes Material (400) wenigstens einer Aufbereitungsstufe (405) zugeführt wird, wobei für das abgesprengte Material zur diskreten Berechnung der Simulation auf der Grundlage einer realen Sprengverteilung Ersatzpartikel gebildet werden.
- 10 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Berechnung des Aufbereitungsprozesses Parameter berücksichtigt werden, welche in einer getrennten Berechnungsschleife (425, 465, 489) ermittelt werden.
- 15 9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass bei der getrennten Berechnungsschleife (425, 465, 489) die Korngröße der Ersatzpartikel berechnet wird (430, 470, 491), dass auf der Grundlage der berechneten Korngröße ein mechanischer Belastungstest bestimmt wird (435, 475, 493) und dass auf der Grundlage der Ergebnisse des mechanischen Belastungstests eine Bruchfunktion berechnet wird (440, 480, 495).
- 20 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Betrieb der Aufbereitungsanlage anhand der Ergebnisse der Simulation gesteuert erfolgt.
- 25 11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass anhand der Simulation festgestellt wird, ob bei einer sich verändernden Materialaufgabe Prozessparameter verändert oder angepasst werden müssen.
- 30 12. Verfahren zur Planung einer neuen Aufbereitungsanlage oder zur Optimierung einer bestehenden Aufbereitungsanlage zum Zerkleinern von im Wesentlichen steinförmigem Material, wobei die Aufbereitungsanlage wenigstens eine Zerkleinerungsstufe (420, 455, 487) und wenigstens eine Sortierstufe (405, 445, 485, 497) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass Aufbereitungsprozesse der Aufbereitungsanlage anhand einer auf diskreten Elementen des Materials beruhenden Simulation berechnet werden (430 – 440, 470 – 480, 491 – 495), wobei einzelne Materialpartikel zugrunde gelegt werden, wobei die Materialpartikel als Ersatzmodell bei der Simulation berücksichtigt werden (430, 470, 491) und wobei die Ergebnisse der Simulation bei der Planung bzw. bei der Optimierung der Aufbereitungsanlage berücksichtigt werden (420, 455, 487).
- 35

13. Computerprogramm, welches eingerichtet ist, jeden Schritt eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12 durchzuführen.

5

14. Maschinenlesbarer Datenträger, auf welchem ein Computerprogramm gemäß Anspruch 13 gespeichert ist.

10

15. Einrichtung, welche eingerichtet ist, eine Aufbereitungsanlage zum Brechen von steinförmigem Material mittels eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 zu steuern.

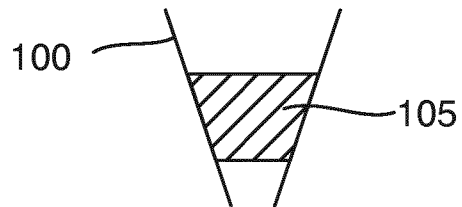


Fig. 1a

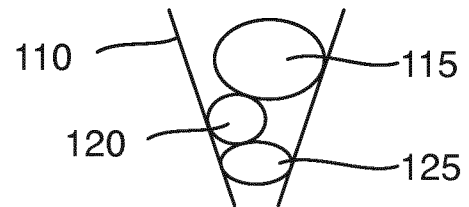


Fig. 1b

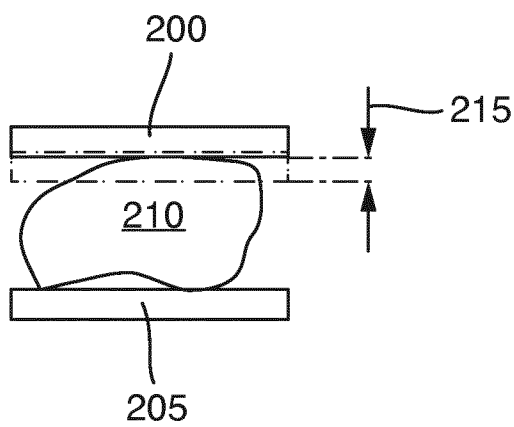


Fig. 2a

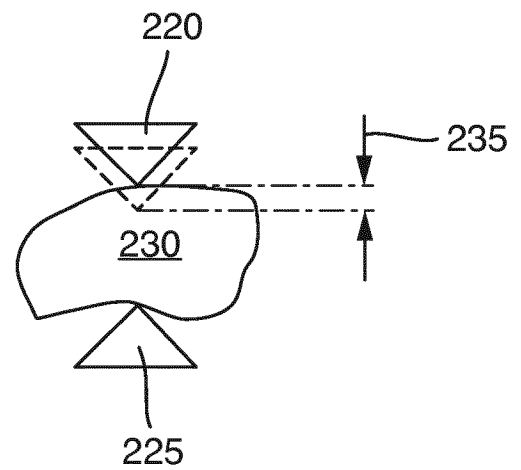


Fig. 2b

2/3

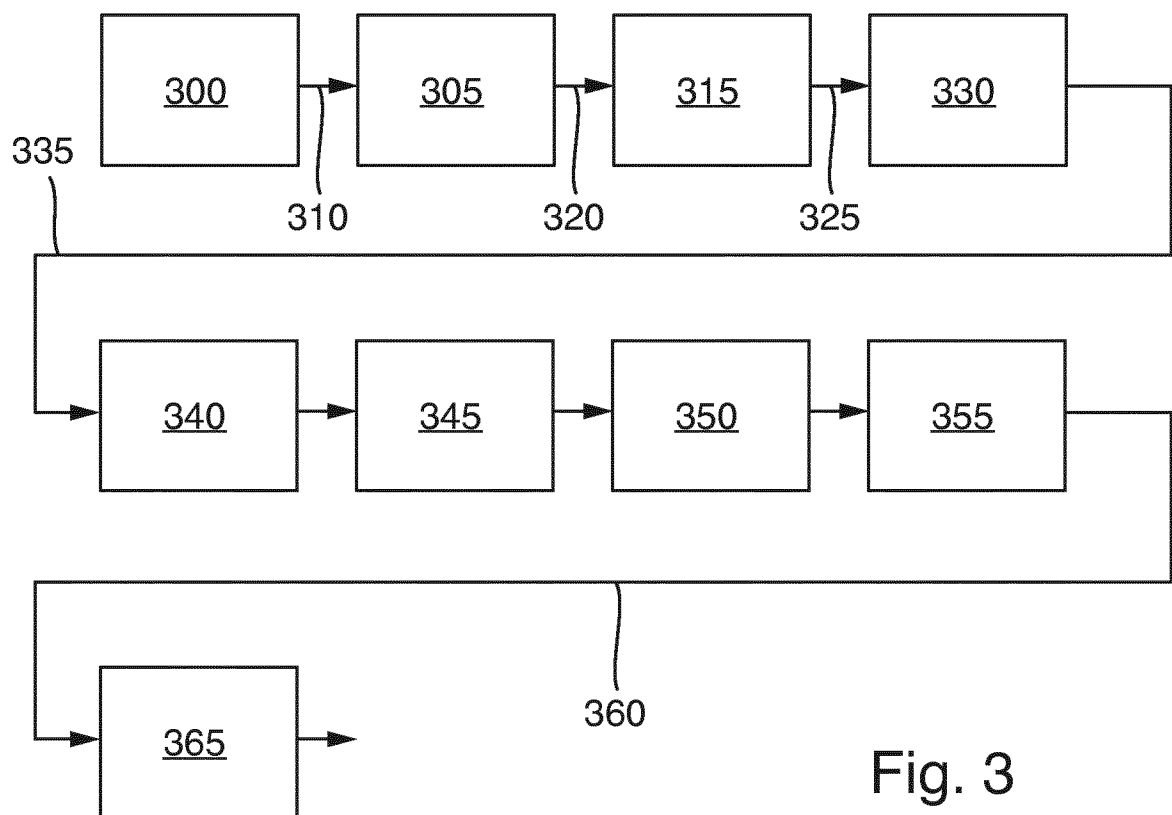


Fig. 3

3/3

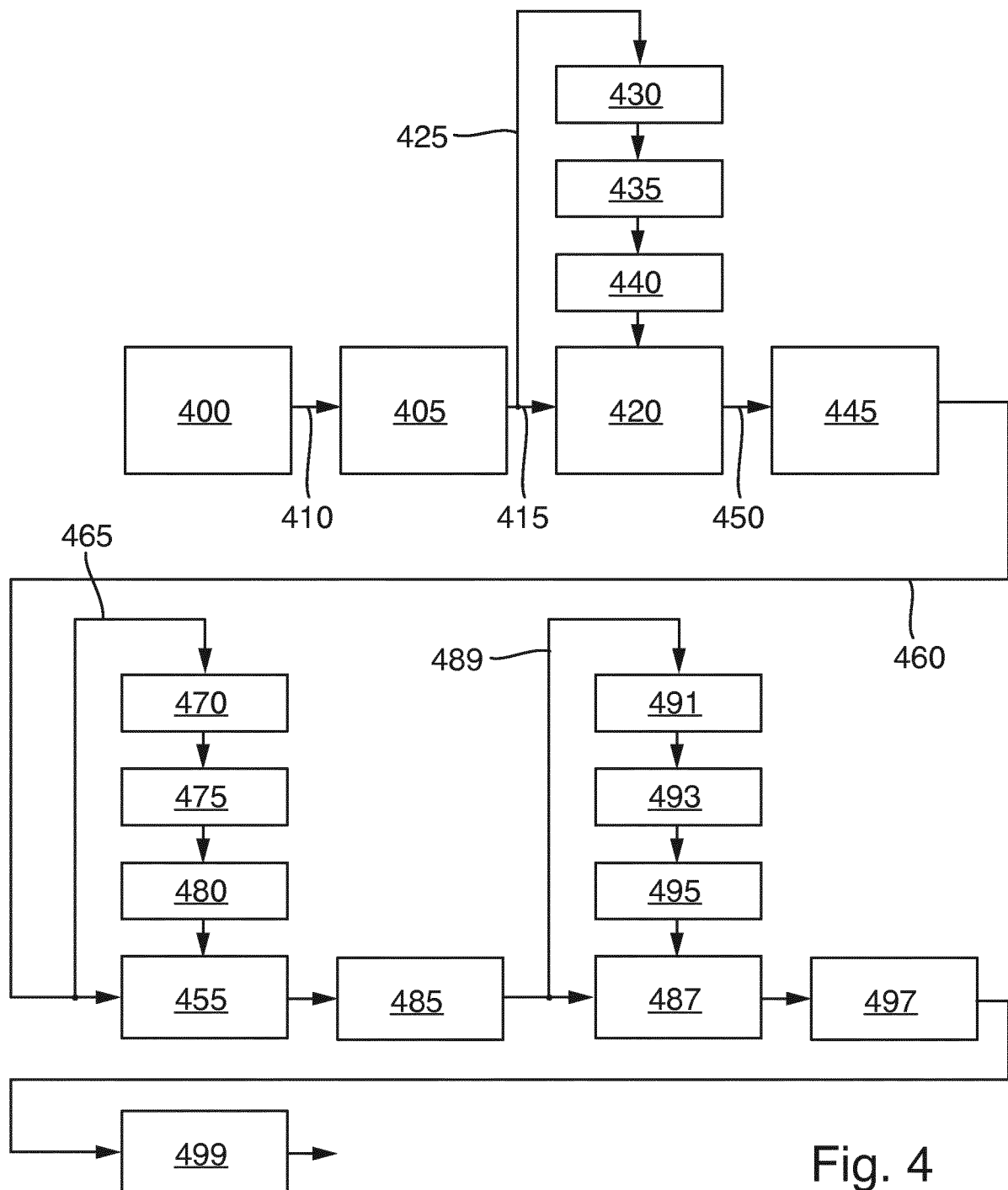


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/072361

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G05B 19/4063 (2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G05B Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, INSPEC, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	J Quist. "Application of discrete element method for simulating feeding conditions and size reduction in cone crushers" 01 September 2010 (2010-09-01), pages 1-11, Retrieved from the Internet: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/133581/local_133581.pdf [retrieved on 2019-10-29] XP055637034 the whole document	1-15
X	Dr.-Ing Hagen Jeschke ET AL. "Computersimulation von Zerkleinerungsprozessen mit Hilfe der Diskreten Elemente Methode" 01 January 2009 (2009-01-01), pages 1-11, Retrieved from the Internet: http://www.cepartec.de/pages/pdf/Jeschke_Katterfeld_2009.pdf [retrieved on 2019-10-29] XP055637050 paragraph 2 & Anonymous. "CeParTec" 01 January 2010 (2010-01-01), Retrieved from the Internet:	1-15
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 29 October 2019		Date of mailing of the international search report 06 November 2019
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Kielhöfer, Patrick Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/072361

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
	http://www.cepartec.de/index.php?sid=16 [retrieved on 2019-10-29] XP055637187	
A	YANG R Y ET AL. "Application of DEM modelling to grinding processes" <i>PROCEEDING OF THE 11TH WORLD CONGRESS ON INTELLIGENT CONTROL AND AUTOMATION, IEEE</i> , 29 June 2014 (2014-06-29), pages 2765-2769 DOI: 10.1109/WCICA.2014.7053164 XP032742543 the whole document	1-15
A	LI HAONAN ET AL. "Modeling and simulation of grinding wheel by discrete element method and experimental validation" <i>THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, SPRINGER, LONDON</i> , Vol. 81, No. 9, 30 May 2015 (2015-05-30), pages 1921-1938, [retrieved on 2015-05-30] DOI: 10.1007/S00170-015-7205-0 ISSN: 0268-3768, XP035858144 the whole document	1-15

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G05B19/4063
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G05B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	J Quist: "Application of discrete element method for simulating feeding conditions and size reduction in cone crushers", 1. September 2010 (2010-09-01), Seiten 1-11, XP055637034, Gefunden im Internet: URL: http://publications.lib.chalmers.se/research/fulltext/133581/local_133581.pdf [gefunden am 2019-10-29] das ganze Dokument ----- -/-	1-15



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. Oktober 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

06/11/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kielhöfer, Patrick

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	Dr.-Ing Hagen Jeschke ET AL: "Computersimulation von Zerkleinerungsprozessen mit Hilfe der Diskreten Elemente Methode", 1. Januar 2009 (2009-01-01), Seiten 1-11, XP055637050, Gefunden im Internet: URL: http://www.cepartec.de/pages/pdf/Jeschke_Katterfeld_2009.pdf [gefunden am 2019-10-29] Abschnitt 2 & Anonymous: "CeParTec", 1. Januar 2010 (2010-01-01), XP055637187, Gefunden im Internet: URL: http://www.cepartec.de/index.php?sid=16 [gefunden am 2019-10-29] -----	1-15
A	YANG R Y ET AL: "Application of DEM modelling to grinding processes", PROCEEDING OF THE 11TH WORLD CONGRESS ON INTELLIGENT CONTROL AND AUTOMATION, IEEE, 29. Juni 2014 (2014-06-29), Seiten 2765-2769, XP032742543, DOI: 10.1109/WCICA.2014.7053164 [gefunden am 2015-03-02] das ganze Dokument -----	1-15
A	LI HAONAN ET AL: "Modeling and simulation of grinding wheel by discrete element method and experimental validation", THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, SPRINGER, LONDON, Bd. 81, Nr. 9, 30. Mai 2015 (2015-05-30), Seiten 1921-1938, XP035858144, ISSN: 0268-3768, DOI: 10.1007/S00170-015-7205-0 [gefunden am 2015-05-30] das ganze Dokument -----	1-15