

19



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

11

N° de publication :

LU103164

12

BREVET D'INVENTION

B1

21

N° de dépôt: LU103164

51

Int. Cl.:

G06T 7/62, G06T 7/12, G06T 7/136

22

Date de dépôt: 03/07/2023

30

Priorité:

72

Inventeur(s):

WILCZEK Michael – Allemagne, RIERING Luca –
Allemagne, KÜHNRIICH Moritz – Allemagne

43

Date de mise à disposition du public: 03/01/2025

74

Mandataire(s):

THYSSENKRUPP INTELLECTUAL PROPERTY GMBH –
45143 Essen (Allemagne)

47

Date de délivrance: 03/01/2025

73

Titulaire(s):

THYSSENKRUPP AG – 45143 Essen (Allemagne),
THYSSENKRUPP POLYSIUS GMBH – 59269
Beckum (Allemagne)

54

Grobe Partikelgrößenabschätzung bei einem Schüttgut.

57

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Partikelgrößenverteilung eines Schüttgutes auf einem Transportband, wobei die Oberfläche erfasst wird, wobei die erfasste Oberfläche einer Bildanalyse unterzogen wird, wobei die Bilddaten als Graustufenbild vorliegen oder in ein Graustufenbild konvertiert werden, wobei die Bildanalyse der Bilddaten eine erste Distanztransformation und ein erstes Segmentierungsverfahren, beispielsweise eine erste Wasserscheidentransformation, zur Bestimmung der Partikel verwendet, wobei von den so erkannten ersten Partikeln die Größe bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Bilddaten zu modifizierten Bilddaten modifiziert werden, in dem die im ersten Schritt erkannten ersten Partikel auf Schwarz gesetzt werden, wobei die Bildanalyse der modifizierten Bilddaten eine zweite Distanztransformation und ein zweites Segmentierungsverfahren, beispielsweise eine zweite Wasserscheidentransformation, zur Bestimmung der Partikel verwendet, wobei von den so erkannten zweiten Partikeln die Größe bestimmt wird, wobei die Größe der ersten Partikel und die Größe der zweiten Partikel zur Bestimmung der Partikelgröße verwendet werden.

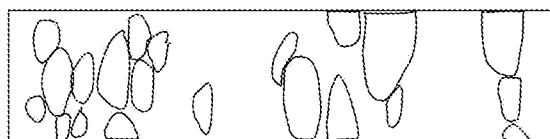


Fig. 4

Grobe Partikelgrößenabschätzung bei einem Schüttgut

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur groben Abschätzung der Partikelgröße und Partikelgrößenverteilung eines Schüttgutes während der Verarbeitung des Schüttgutes.

5

Für viele Prozesse, beispielsweise in der Zementindustrie, ist es vorteilhaft, die Partikelgröße und Partikelgrößenverteilung eines Schüttgutes innerhalb eines Prozess innerhalb der Prozesslinie zu ermitteln, um folgende Verarbeitungsschritte an unterschiedliche Partikelgrößen anpassen zu können, beispielsweise in einer Mühle
10 Mahlzeiten anzupassen oder bei der thermischen Behandlung Verweilzeiten anzupassen.

Hierbei gibt es zwei Probleme. Das erste ist, dass eine Laboranalyse aus zeitlichen Gründen für eine direkte Prozesssteuerung nur sehr bedingt geeignet ist. Es ist somit
15 wünschenswert, die Messung direkt im Prozess durchzuführen. Dabei tritt aber nun das zweite Problem in den Vordergrund. Bei einem Schüttgut ist nur die Oberfläche zu sehen und diese ist durch die Einheitlichkeit des Materials auch schwer in getrennte Partikel zu zerlegen, sodass die Analyse der Größenverteilung fehleranfällig ist.

20 Aus der DE 16 07 460 B2 ist eine Zerkleinerungsanlage bekannt, bei welcher die Größenverteilung eine Regelgröße ist.

Aus der DE 43 25 187 C2 ist ein Verfahren zur Anpassung von Betriebsparametern einer Walzenmühle bekannt.

25

Aus der US 2017/0045438 A1 ist eine Partikelgrößenbestimmung in Flüssigkeit bekannt.

Aus der US 2005/0046841 A1 ist eine Partikelgrößenbestimmung in Flüssigkeit bekannt.

30 Aus der US 2003/0063276 A1 ist ein Verfahren zur Trennung von Agrarprodukten bekannt, wobei eine kontinuierliche Probennahme erfolgt.

Aus der US 4,115,803 A ist ein Bildauswerteverfahren bekannt.

Aus der WO 2014/009384 A2 ist ein Verfahren zur Identifizierung und Diskriminierung verschiedener heterogener Materialien bekannt.

- 5 Aus der DE 20 2011 109 943 U1 ist eine Vorrichtung zur Bestimmung der Größe von Partikeln in einem Partikelstrom bekannt.

Aus der DE 16 07 460 B2 ist eine rechnergesteuerte Zerkleinerungsanlage bekannt.

- 10 Aus der DE 43 25 187 C2 ist ein Walzmühlensteuerverfahren bekannt.

Aus Zhang Zelin et al, „Multi-scale image segmentation of coal piles on a belt based on the Hessian matrix“, Particuology, Bd. 11, Nr. 5, 31.10.2013, Seiten 549-555, XP028693266 ist die optischer Erkennung von Kohlenstücken bekannt.

- 15 Aus Norbert H Maerz: „Automated online optical sizing analysis“, Proceedings of the third international conference on autogenous and semi autogenous grinding technology, 21.12.2001, XP055699611 ist eine optische Größenuntersuchung bekannt.

- 20 Aus der DE 10 2019 204 103 A1 ist ein Verfahren zur Grobklassifizierung der Partikelgrößenverteilung eines Schüttguts bekannt. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass mittels dieses Verfahrens die Klassifizierung nicht für alle Anwendungsfälle ausreichend ist. Insbesondere kann die Bildauswertung auch materialabhängig unterschiedlich zuverlässig ausfallen.

- 25 Aufgabe der Erfindung ist es, ein einfaches und dennoch robustes und zuverlässiges Verfahren zur groben Abschätzung der Partikelgrößenverteilung eines Schüttgutes bereitzustellen.

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

Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur Ermittlung der Partikelgrößenverteilung eines Schüttgutes auf einem Transportband. Es kann somit beispielsweise vor einer Mühle oder dergleichen verwendet werden, um die Mühle optimal zu steuern und den Energieeintrag auf die Partikelgrößenverteilung des ankommenden Schüttgutes einzustellen. Die Oberfläche wird erfasst. Dieses kann beispielsweise optisch mittels einer Kamera erfolgen. Bevorzugt erfolgt dieses jedoch mit einem Laser-Scanner, da so das Oberflächenprofil in einfacher Weise erfasst werden kann und die Farbigkeit des Schüttguts praktisch keine Rolle spielt. Alternativ können natürlich auch alle anderen bildgebenden Erfassungsmöglichkeiten einer Oberfläche, wie zum Beispiel Radar, verwendet werden. Wesentlich ist, dass am Ende Bilddaten erhalten werden, die eine Repräsentation der Oberfläche darstellen und die Identifikation einzelner Partikel ermöglichen. Die erfasste Oberfläche in Form der Bilddaten wird einer Bildanalyse unterzogen. Die Bilddaten liegen als Graustufenbild vor oder werden in ein Graustufenbild konvertiert. Die Bildanalyse der Bilddaten verwendet eine Distanztransformation und ein erstes Segmentierungsverfahren, beispielsweise eine erste Wasserscheidentransformation, zur Bestimmung der Partikel. Derartige Analysen können als allgemein bekannt angesehen werden und umfassen auch weitere Schritte, die dem Fachmann geläufig sind. Von den so erkannten ersten Partikeln wird die Größe bestimmt. Es hat sich jedoch gezeigt, dass so nur ein Teil der Oberfläche erfasst und somit die gemessenen ersten Partikel nicht repräsentativ für das gesamte Schüttgut sind. Dieses liegt daran, dass unterschiedliche Bereiche leicht eine unterschiedliche Helligkeit und damit einen unterschiedlichen Kontrast aufweisen.

Erfindungsgemäß werden daher die Bilddaten zu modifizierten Bilddaten modifiziert. Hierzu werden die im ersten Schritt erkannten ersten Partikel auf Schwarz gesetzt, also praktisch ausgeblendet. Somit verbleiben nur noch die Partikel in den modifizierten Bilddaten, welche für eine Erkennung in der ersten Iteration nicht hell genug waren. Da nun aber die helleren Bereiche entfernt wurden, da diese bereits erkannten ersten Partikel auf schwarz gesetzt werden, so können nun diese weiteren Partikel in den modifizierten Bilddaten gefunden werden. Dieses ist möglich, da für die Distanztransformation eine Binarisierung, also eine Konvertierung auf Schwarz-Weiß erfolgt, was wiederum Partikel, deren maximaler Helligkeitswert einen Schwellwert unterschreitet, ignoriert. In dem zweiten Iterationsschritt sind jedoch die Partikel mit der

maximalen Helligkeit entfernt, sodass bei der Binarisierung nun weitere Partikel gefunden werden können. Die Bildanalyse der modifizierten Bilddaten verwendet eine zweite Distanztransformation und ein zweites Segmentierungsverfahren, beispielsweise eine zweite Wasserscheidentransformation, zur Bestimmung der Partikel. Von den so
5 erkannten zweiten Partikeln wird die Größe bestimmt. Die Größe der ersten Partikel und die Größe der zweiten Partikel werden zur Bestimmung der Partikelgröße verwendet. Dadurch werden insgesamt mehr Partikel erfasst und das so erzielte Ergebnis ist zuverlässiger.

- 10 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist das erste Segmentierungsverfahren eine erste Wasserscheidentransformation und das zweite Segmentierungsverfahren eine zweite Wasserscheidentransformation.

- 15 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist wenigstens ein Segmentierungsverfahren eine Blob-Detection, welche eine: Erkennung von Ellipsen und nicht von jeder beliebigen Form ermöglicht. Wenn man von einer vergleichsweise sphärischen Form der Partikel ausgehen kann, so erleichtert dieses die Separation benachbarter Teilchen und reduziert den Rechenaufwand.

- 20 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist wenigstens ein Segmentierungsverfahren eine Canny-Edge-Kantenerkennungsalgorithmus zur Erkennung von Strukturen. Der Canny-Edge kann präzisere Ergebnisse liefern. Nachteilig ist jedoch, dass dieser sehr schwer zu parametrisieren ist.

- 25 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist wenigstens ein Segmentierungsverfahren eine markerbasierte Wasserscheiden-Transformation.

- In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden die genannte Verfahren, oder nur ausgewählte dieser, parallel betrieben, die Ergebnisse kombiniert und ausgewertet
30 werden. Dadurch entsteht ein deutlich erhöhter Rechenaufwand. Die Ergebnisqualität kann dadurch gesteigert werden.

Es kann vor der Binarisierung über ein Histogramm der Informationsüberfluss beschränkt werden. Dadurch werden Peaks eliminiert und die Informationsdichte erhöht. Dieser Prozess kann auch mit einem biased Histogramm erfolgen. Dabei werden zusätzlich zu den Peaks ebenfalls ein Prozentsatz von 0 bis 15 % der Randwerte des Histogramms entfernt, um die Informationsdichte enorm zu erhöhen. Wichtig ist dabei, dass keine relevanten Informationen entfernt werden.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Erfassung der Oberfläche mit einem Laserscanner, bevorzugt mit einem Linien-Laserscanner. Vorteil ist, dass hier direkt die Oberflächenstruktur erfasst wird und so die Kontur der auf der Oberfläche befindlichen Partikel zuverlässig erkannt wird, wohingegen bei optischen Verfahren die grundsätzliche einheitliche, aber dennoch individuell schwankende Farbgebung die Erkennung einzelner Partikel erschwert.

Natürlich kann auch eine Kombination, beispielsweise aus Laserscanner und Kamera, verwendet werden, um Vorteile beider Verfahren zu erhalten und gegenseitige Schwächen auszugleichen.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden die modifizierten Bilddaten zu weiter modifizierten Bilddaten modifiziert, in dem die im zweiten Schritt erkannten zweiten Partikel auf Schwarz gesetzt werden. Es erfolgt somit ein dritter Iterationsschritt, um weitere Partikel zu erkennen. Die Bildanalyse der weiter modifizierten Bilddaten verwendet eine dritte Distanztransformation und ein drittes Segmentierungsverfahren, beispielsweise eine dritte Wasserscheidentransformation, zur Bestimmung der Partikel, wird also analog der ersten Iteration und der zweiten Iteration durchgeführt.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden diese Iterationsschritte so lange wiederholt, bis die eine weitere Verbesserung durch weitere erkannte Partikel nicht mehr erfolgt. Üblicherweise können hierfür 10 bis 20 Iterationsschritte. Danach hat die Qualität der verbleibenden Restdaten soweit abgenommen, dass es zu keiner Verbesserung des Ergebnisses mehr kommt.

Von den so iterativ erkannten Partikeln wird die Größe bestimmt und die Größe der iterativ erkannten Partikel werden zur Bestimmung der Gesamtpartikelgrößenverteilung verwendet.

- 5 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden in den Bilddaten fehlende Bildpunkte durch Interpolation erzeugt. Dieses ist beispielsweise bei mittels eines Laserscanners erhaltenen Daten für durch Erhöhungen abgeschattete Bereiche vorteilhaft.
- 10 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden in den Bilddaten fehlende Bildpunkte durch Übertragen des Wertes des vorangegangenen Bildpunktes erzeugt. Dieses hat den Vorteil, dass kein Rechenaufwand, wie zum Beispiel bei der Interpolation, nötig ist.
- 15 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird simultan zum erfindungsgemäßen Verfahren eine Mustererkennung trainiert und ausgeführt. Es wird also durch die Mustererkennung letztendlich eine Erkennung ohne Auswertung (ohne Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens) möglich, wenn die Mustererkennung somit ein Muster wiedererkennt und so einer Partikelgrößenverteilung in einfacherer Weise zuordnen
- 20 kann.

- In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer Zerkleinerungsvorrichtung, insbesondere einer Mühle, wobei der Zerkleinerungsvorrichtung ein Schüttgut zugeführt und in der Zerkleinerungsvorrichtung
- 25 zerkleinert wird. Das zugeführte Schüttgut wird bei der Zuführung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Ermittlung der Partikelgrößenverteilung eines Schüttgutes auf einem Transportband untersucht, die ermittelte Partikelgrößenverteilung ausgewertet und die Zerkleinerungsvorrichtung anhand der ermittelten Partikelgrößenverteilung geregelt. Insbesondere werden Mahldruck und eingebrachte
- 30 Energie geregelt.

Nachfolgend ist das erfindungsgemäße Verfahren anhand eines in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Fig. 1 Bilddaten

Fig. 2 Binarisierung

Fig. 3 Distanztransformation

5 Fig. 4 Wasserscheidentransformation

Fig. 5 modifizierte Bilddaten

Die Abbildungen zeigen die Bildinformationen, welche in den Schritten des Verfahrens
erhalten beziehungsweise bearbeitet werden. Anhand dieser Darstellungen soll das
10 Verfahren beispielhaft dargestellt werden.

In Fig. 1 sind die Bilddaten dargestellt. Gezeigt ist ein Graustufenbild, welches mit Hilfe
eines Laserscanners auf einem Förderband von Klinker gemacht wurde. In einem ersten
Schritt erfolgt die Binarisierung, wie in Fig. 2 gezeigt, also die Umwandlung in Schwarz-
15 Weiß. Dieses ermöglicht die Distanztransformation, welche in Fig. 3 gezeigt ist. Damit
lässt sich die in Fig. 4 gezeigte Wasserscheidentransformation durchführen. Somit
können die ersten Partikel identifiziert und deren Größe bestimmt werden. Im einfachsten
Fall wird einfach die Pixelzahl verwendet. Um nun zur zweiten Iteration zu kommen,
werden die bereits gefundenen Partikel „ausgeschwärzt“ und so modifizierte Bilddaten
20 erhalten, wie in Fig. 5 gezeigt. Mit diesen modifizierten Bilddaten kann das Verfahren
dann wieder wie zuvor beschrieben durchgeführt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der Partikelgrößenverteilung eines Schüttgutes auf einem Transportband, wobei die Oberfläche erfasst wird, wobei die erfasste
5 Oberfläche einer Bildanalyse unterzogen wird, wobei die Bilddaten als Graustufenbild vorliegen oder in ein Graustufenbild konvertiert werden, wobei die Bildanalyse der Bilddaten eine erste Distanztransformation und ein erstes Segmentierungsverfahren zur Bestimmung der Partikel verwendet, wobei von den so erkannten ersten Partikeln die Größe bestimmt wird, **dadurch**
10 **gekennzeichnet, dass** die Bilddaten zu modifizierten Bilddaten modifiziert werden, in dem die im ersten Schritt erkannten ersten Partikel auf Schwarz gesetzt werden, wobei die Bildanalyse der modifizierten Bilddaten eine zweite Distanztransformation und ein zweites Segmentierungsverfahren zur Bestimmung der Partikel verwendet, wobei von den so erkannten zweiten Partikeln die Größe
15 bestimmt wird, wobei die Größe der ersten Partikel und die Größe der zweiten Partikel zur Bestimmung der Partikelgröße verwendet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Erfassung der Oberfläche mit einem Laserscanner, bevorzugt mit einem Linien-Laserscanner,
20 erfolgt.
3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste Segmentierungsverfahren eine erste Wasserscheidentransformation und das zweite Segmentierungsverfahren eine
25 zweite Wasserscheidentransformation ist.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die modifizierten Bilddaten zu weiter modifizierten Bilddaten modifiziert werden, in dem die im zweiten Schritt erkannten zweiten Partikel auf Schwarz
30 gesetzt werden, wobei die Bildanalyse der weiter modifizierten Bilddaten eine dritte Distanztransformation und ein drittes Segmentierungsverfahren, insbesondere eine dritte Wasserscheidentransformation, zur Bestimmung der Partikel verwendet, wobei von den so erkannten dritten Partikeln die Größe bestimmt wird, wobei die Größe der ersten Partikel, die Größe der zweiten Partikel

und die Größe der dritten Partikel zur Bestimmung der Partikelgröße verwendet werden.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**
5 **dass** in den Bilddaten fehlende Bildpunkte durch Interpolation erzeugt werden.

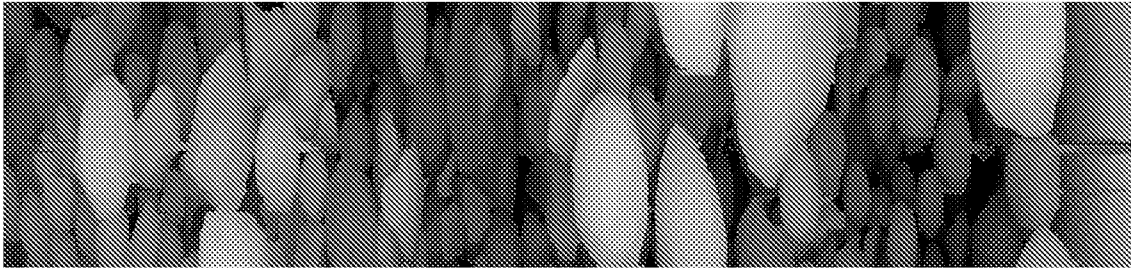


Fig. 1



Fig. 2

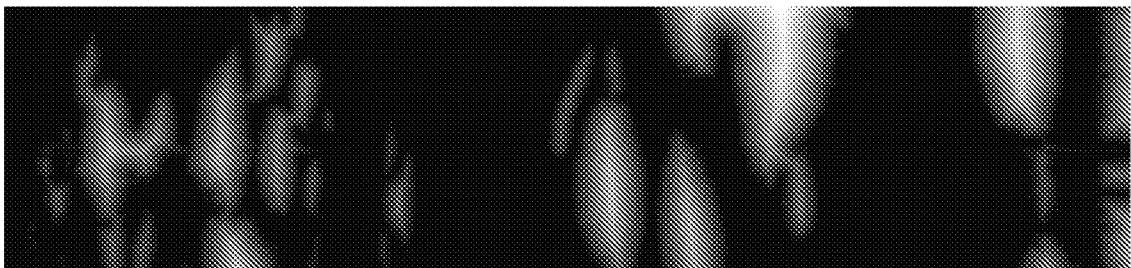


Fig. 3

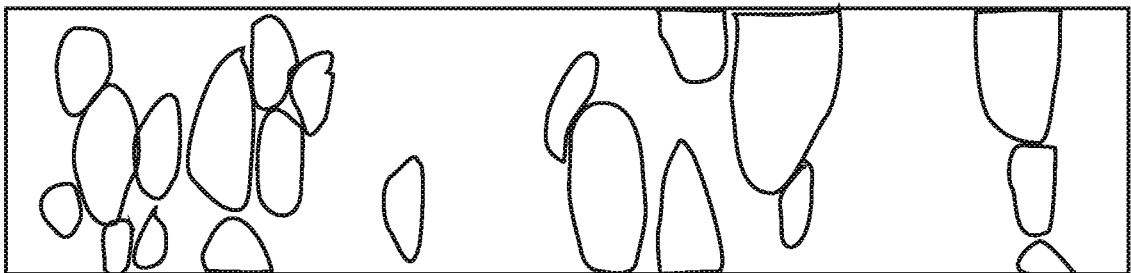


Fig. 4



Fig. 5