

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50418/2020  
(22) Anmeldetag: 13.05.2020  
(45) Veröffentlicht am: 15.09.2022

(51) Int. Cl.: **B02C 13/26** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
WO 2014001606 A1  
DE 102004005378 A1

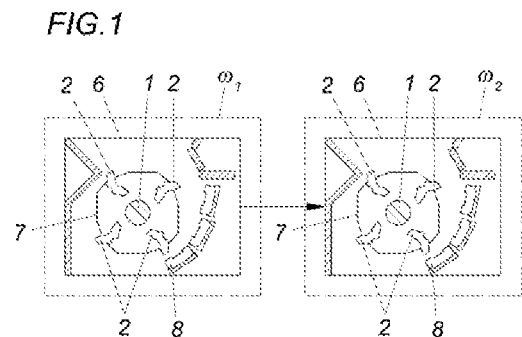
(73) Patentinhaber:  
Rubble Master HMM GmbH  
4030 Linz (AT)

(72) Erfinder:  
Hinterdorfer Christian Dipl.Ing. (FH)  
4293 Gutau (AT)  
Hinterreiter Christian BSc  
4593 Obergrünburg (AT)

(74) Vertreter:  
Hübscher & Partner Patentanwälte GmbH  
4020 Linz (AT)

### (54) Verfahren zur Verschleißerkennung bei Brechern in Leerfahrt

(57) Es wird ein Verfahren zur Verschleißerkennung bei Brechern in Leerfahrt mit einem an einer Antriebswelle (1) gelagertem Verschleißteil (2) beschrieben. Um ein Verfahren der eingangs geschilderten Art zu schaffen, sodass die Brecherproduktivität beeinträchtigende Stillstandzeiten entfallen können und dennoch eine zuverlässige Verschleißerkennung bei geringem Verletzungsrisiko für den Maschinenbetreiber ermöglicht wird, wird vorgeschlagen, dass die Antriebswelle (1) von einer Startwinkelgeschwindigkeit ( $\omega_1$ ) auf eine Endwinkelgeschwindigkeit ( $\omega_2$ ) mit vorgegebener Beschleunigung beschleunigt und die dazu erforderliche Antriebsenergie ermittelt wird, wonach der Verschleiß des Verschleißteils (2) als der der erforderlichen Antriebsenergie in einer vorgegebenen Verschleißsteilkennlinie (3, 4, 5) zugeordnete Wert ermittelt wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Verschleißerkennung bei Brechern in Leerfahrt mit einem an einer Antriebswelle gelagertem Verschleißteil.

**[0002]** Im Zusammenhang mit Brechern, wie beispielsweise Prallbrechern, die zur industriellen Aufbereitung von mineralischem Schüttgut zum Einsatz kommen, führen die beim Aufbereitungsprozess auftretenden hohen Druck- und Reibungskräfte mit der Zeit zu einem Verschleiß des an einer Antriebswelle des Brechers gelagerten, stark beanspruchten Verschleißteils. Im Fall von Prallbrechern kann das Verschleißteil insbesondere eine oder mehrere an einem Brecherrotor angeordnete Schlagleisten umfassen, die mit einer Prallplatte unter Ausbildung eines Brechspaltes zusammenwirken. Bedingt durch den Verschleiß kann es allmählich zu Abweichungen des Ist-Brechspalts vom vorgegebenen Soll-Brechspalt des Brechers kommen, sodass der Maschinenbetreiber den Brechspalt nachjustieren muss, um einen gleichbleibenden Korndurchmesser des vom Brecher erzeugten Ausgabekorns zu ermöglichen. Darüber hinaus muss bei entsprechend starker Abnutzung des Verschleißteils dieses nach einer gewissen Benutzungszeit auch ausgetauscht werden.

**[0003]** Vor diesem Hintergrund wird üblicherweise in regelmäßigen Abständen bei Stillstand des Brechers der Brechspalt händisch nachgemessen, sodass der Maschinenbetreiber auf Basis dieser Messung den Brechspalt wieder an den vorgegebenen Soll-Wert anpassen kann oder aber dabei feststellt, dass das Verschleißteil ausgetauscht werden muss. Nachteilig ist daran allerdings, dass abgesehen von der verminderten Brecherproduktivität aufgrund der zur Verschleißbestimmung notwendigen Stillstandzeiten auch Messfehler durch den Maschinenbetreiber auftreten können. Würde zum Beispiel ein fälschlicherweise zwischen einer Blindleiste und einer Prallplatte gemessener Brechspaltwert als Ausgangsbasis zur Nachjustierung des Brechspalts herangezogen werden, könnte diese Maßnahme schlimmstenfalls zu einer mitunter für umstehende Personen gefährlichen Beschädigung des Brechers führen. Nicht zuletzt deshalb und weil der Maschinenbetreiber zur Messung des Brechspalts einen händischen Eingriff in die Brechkammer vornehmen muss, ist der Maschinenbetreiber einem nicht unerheblichen Verletzungsrisiko ausgesetzt.

**[0004]** Es besteht somit ein Bedarf, ein Verfahren der eingangs geschilderten Art zu schaffen, sodass die Brecherproduktivität beeinträchtigende Stillstandzeiten entfallen können und dennoch eine zuverlässige Verschleißerkennung bei geringem Verletzungsrisiko für den Maschinenbetreiber ermöglicht wird.

**[0005]** Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe dadurch, dass die Antriebswelle von einer Startwinkelgeschwindigkeit auf eine Endwinkelgeschwindigkeit mit vorgegebener Beschleunigung beschleunigt und die dazu erforderliche Antriebsenergie ermittelt wird, wonach der Verschleiß des Verschleißteils als der der erforderlichen Antriebsenergie in einer vorgegebenen Verschleißteilkennlinie zugeordnete Wert ermittelt wird.

**[0006]** Zufolge dieser Maßnahmen kann bei Leerfahrt des Brechers, das heißt ohne aufgegebenem Brechgut, der Verschleiß des Verschleißteils zuverlässig ermittelt werden, sodass ein händischer Eingriff in die Brechkammer entfallen kann. Der Erfindung liegt dabei die Überlegung zugrunde, dass der durch den Verschleiß hervorgerufene Massenverlust sowie die Geometrieänderung des Verschleißteils zu einer Änderung des Trägheitsmoments des Verschleißteils an der Antriebswelle und damit zu einer Änderung der erforderlichen Antriebsleistung bei gleichen Beschleunigungsbedingungen führt. Folglich wird gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren für den vorgegebenen Beschleunigungsvorgang beispielsweise eine Antriebsleistungsmessung des Brechers durchgeführt und daraus der erforderliche Energieaufwand bestimmt. Dem im Rahmen des vorgegebenen Beschleunigungsvorgangs bestimmten Energieaufwand ist gemäß einer vorgegebenen Verschleißteilkennlinie ein entsprechender Verschleißwert zugeordnet, sodass der Verschleiß des Verschleißteils auf Basis der Abweichung der gemessenen Antriebsleistung gegenüber der erforderlichen Antriebsleistung im verschleißfreien Zustand ermittelt werden kann. Zur Bestimmung der Verschleißteilkennlinie kann im Falle eines Prallbrechers für eine vorgege-

bene Anordnung des Verschleißteils an der Antriebswelle mit vorgegebener Verschleißteildichte bzw. Geometrie, und somit bekanntem Trägheitsmoment, zunächst eine Referenzfahrt bei vorgegebener Beschleunigung von einer Startwinkelgeschwindigkeit auf eine Endwinkelgeschwindigkeit durchgeführt werden. Dabei lässt sich, wie zuvor bereits beschrieben, die Antriebsleistung messen, woraus in weiterer Folge wiederum der benötigte Referenzenergieaufwand für den Beschleunigungsvorgang ermittelt werden kann. Beispielsweise kann nun unter der vereinfachten Annahme eines quaderförmigen Verschleißteils sowie unter Annahme eines gleichmäßig erfolgenden Verschleißes diesem Referenzenergieaufwand der Verschleißwert 0 bezogen auf die Änderung des Verschleißteils in seiner Geometrie zugeordnet werden. Um in weiterer Folge eine Verschleißteilkennlinie zu bestimmen, kann der theoretische Energieaufwand bei der vorgegebenen Beschleunigungsfahrt für beliebige Verschleißwerte ermittelt werden, indem über die Geometrieänderung des Verschleißteils bei vorgegebener Dichte des Verschleißteils dessen Masse und über das an der Antriebswelle wirkende Trägheitsmoment die erforderliche Antriebsleistung und somit der theoretische Energieaufwand bei der Beschleunigung von einer Startwinkelgeschwindigkeit auf eine Endwinkelgeschwindigkeit ermittelt wird. Im einfachsten Fall handelt es sich um eine, um einen Entwicklungspunkt linearisierte quadratische Funktion des für den vorgegebenen Beschleunigungsvorgang erforderlichen Energieaufwands in Abhängigkeit der Änderung des Verschleißteils in seiner Geometrie. Beispielsweise kann als Verschleiß die Längenänderung des Verschleißteils in einer Abnutzungsrichtung herangezogen werden.

**[0007]** In diesem Zusammenhang empfiehlt es sich, dass die vorgegebene Verschleißteilkennlinie für die Anordnung des Verschleißteils an der Antriebswelle aus einem Verschleißteilkennliniensatz möglicher unterschiedlicher Anordnungen ausgewählt wird. Dies bedeutet, dass zunächst für verschiedene Anordnungen des Verschleißteils an der Antriebswelle jeweils eine eigene Verschleißteilkennlinie erstellt wird, wobei die unterschiedlichen Verschleißteilkennlinien zu einem Verschleißteilkennliniensatz zusammengefasst und beispielsweise in einem Verschleißteilkennlinienspeicher abgelegt werden. Eine solche Anordnung kann beispielsweise von der Anzahl der an der Antriebswelle gelagerten Schlagleisten sowie deren Materialeigenschaften, Geometrie und / oder Verschleißgrad abhängig sein, aber auch von der Anzahl der gegebenenfalls vorgesehenen, ebenfalls an der Antriebswelle gelagerten Blindleisten zum Massenausgleich. Wird somit eine bestimmte Anordnung des Verschleißteils an der Antriebswelle beim Brecher installiert, kann der Maschinenbetreiber die jener Anordnung entsprechende Verschleißteilkennlinie aus dem Verschleißteilkennliniensatz auswählen. Um eine manuelle, gegebenenfalls fehlerbehaftete Auswahl durch den Maschinenbetreiber zu vermeiden, kann das Verschleißteil oder dessen Elemente mit einer maschinell auslesbaren Identifikation versehen sein, sodass beim Einbau der Elemente des Verschleißteils die jeweilige Anordnung durch entsprechend angeordnete Sensoren erfasst und die entsprechende Verschleißteilkennlinie aus dem Verschleißteilkennliniensatz ausgewählt werden kann. Die Identifikation kann beispielsweise durch einen RFID-Transponder gebildet werden.

**[0008]** Um neben dem Verschleiß auf dem Verschleißteil auch den den Brechspalt bestimmenden Gesamtverschleiß ermitteln zu können, kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass das Verschleißteil eine oder mehrere mit einer Prallplatte zusammenwirkende Schlagleisten eines Prallbrechers sind, für dessen Ausgabekorn jener Ist-Referenzkorndurchmesser ermittelt wird, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumsanteils des Ausgabekorns ist, wobei der Gesamtverschleiß als Differenz zwischen einem dem Ist-Referenzkorndurchmesser zugeordneten Ist-Brechspalt und einem vorgegebenen Soll-Brechspalt bestimmt wird. Im Zusammenhang mit Prallbrechern haben Siebanalysen des Ausgabekorns bzw. Analysen der Korngrößenverteilungen des Ausgabekorns gezeigt, dass der Referenzkorndurchmesser, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumsanteils des Ausgabekorns ist, charakteristisch für den Brechspalt ist, wenngleich dieser Referenzkorndurchmesser in Abhängigkeit vom vorgegebenen Volumsanteil nicht dem Brechspalt entsprechen muss. Ist damit den Referenzkorndurchmessern ein bekannter Brechspalt zugeordnet, kann der Verschleiß als Änderung dieses Brechspaltes bei sich verändernden Referenzkorndurchmessern bestimmt werden. Eine zuverlässige Ermittlung der Referenzkorndurchmesser und der zugeordneten Brechspalte kann erfolgen, wenn der vorgegebene Volumsanteil des Ausgabekorns, also der Sieb-

durchgang, bei weniger als 90 % liegt. Bei einem besonders bevorzugten vorgegebenen Volumensanteil von 75 bis 85 %, vorzugsweise bei 80 %, entspricht der Referenzkorndurchmesser in etwa dem sich zwischen Verschleißteil und der Prallplatte bildenden Brechspalt. Dies bedeutet, dass 90 %, vorzugsweise zwischen 75 und 85 % und insbesondere 80 % des Volumensanteils des Ausgabekorns kleiner als der Referenzkorndurchmesser sind.

**[0009]** Ist der Gesamtverschleiß bekannt, kann die Prallschwinge für einen vorgegebenen Soll-Brechspalt des Prallbrechers um den Betrag des Gesamtverschleißes näher an das Verschleißteil herangeführt werden. Damit entspricht der Ist-Brechspalt dem vorgegebenen Soll-Brechspalt trotz der verschleißbedingten Materialabnutzung.

**[0010]** Bei Prallbrechern mit einem aus einer oder mehreren Schlagleisten gebildeten Verschleißteil ist es wünschenswert, auch den Verschleiß der mit den Schlagleisten zusammenwirkenden Prallplatten zuverlässig ohne manuellen Eingriff in die Brechkammer zu bestimmen. Daher wird vorgeschlagen, dass für das Ausgabekorn des Prallbrechers jener Ist-Referenzkorndurchmesser ermittelt wird, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumensanteils des Ausgabekorns ist, wobei der Prallplattenverschleiß als Differenz zwischen einem dem Ist-Referenzkorndurchmesser zugeordneten Ist-Brechspalt und der Summe aus dem Verschleiß einer Schlagleiste und einem vorgegebenen Soll-Brechspalt bestimmt wird. Bei bekanntem Verschleiß auf dem Verschleißteil kann somit der Verschleiß auf der Prallplatte ermittelt werden.

**[0011]** Eine Zuordnung von Referenzkorndurchmessern und Brechspalt ist vom jeweiligen Brechgut und von anderen Brecherparametern, wie beispielsweise der Schlagleistenkonfiguration, abhängig. Um daher eine zuverlässige Bestimmung des Brechspaltes für einen bestimmten Referenzkorndurchmesser zu ermöglichen, wird vorgeschlagen, dass bei Verschleißteil mit bekanntem Verschleiß, beispielsweise im verschleißfreien Zustand, für unterschiedliche, definierte Brechspalte der Referenzkorndurchmesser ermittelt wird, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumensanteils des Ausgabekorns ist und dem jeweiligen Brechspalt in einer Brechspaltkennlinie zugeordnet wird. Zur Bestimmung des Verschleißes und in weiterer Folge des Verschleißes auf der Prallplatte können je nach vorgegebener Verschleißteilanordnung, Art des Brechguts und anderen Brecherparametern mehrere Brechspaltkennlinien als Brechspaltkennlinienfeld ermittelt werden, aus denen die jeweils geeignete Brechspaltkennlinie im Betrieb ausgewählt werden kann. Um das Ermitteln der erforderlichen Referenzkorndurchmesser bei vorgegebenem Brechspalt zu beschleunigen, können lediglich für einzelne Brechspalteinstellungen Referenzkorndurchmesser ermittelt und zu einer Brechspaltkennlinie interpoliert werden.

**[0012]** Für den Fall, dass sich die Verschleißteile entlang ihrer zur Rotationsachse der Antriebswelle parallelen Längsachse ungleichmäßig abnutzen, kann der damit ebenfalls ungleichmäßige Brechspalt zu einer unerwünschten Korngrößenverteilung und folglich zu einer minderen Produktqualität des Ausgabekorns führen. Vor diesem Hintergrund empfiehlt es sich, dass der Ist-Referenzkorndurchmesser quer zur Förderrichtung des Ausgabekorns an unterschiedlichen Stellen ermittelt und für jede Stelle der resultierende Prallplattenverschleiß bestimmt wird. Zu diesem Zweck muss lediglich der Ist-Referenzkorndurchmesser für mehrere quer zur Förderrichtung nebeneinanderliegende Bereiche des Ausgabekorns separat bestimmt und das erfindungsgemäße Verfahren für jeden dieser Bereiche durchgeführt werden. Die Brechspaltkennlinie, die ja im Fall eines Verschleißteils mit bekanntem Verschleiß, beispielsweise im verschleißfreien Zustand, ermittelt wird, kann demgegenüber für das gesamte Ausgabekorn bestimmt werden.

**[0013]** Grundsätzlich können zur in-situ Bestimmung jenes Referenzkorndurchmessers, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumensanteils des Ausgabekorns ist, bekannte photogrammetrische Verfahren, die beispielsweise mithilfe einer Stereokamera und Lasertriangulation realisiert werden, zum Einsatz kommen. Nachteilig daran ist allerdings deren begrenzte Erfassungs- und Verarbeitungsgeschwindigkeit, sodass für eine zuverlässige Bestimmung des größten Korndurchmessers die Fördergeschwindigkeiten der Materialströme bzw. die Bandgeschwindigkeit der Fördereinheit entsprechend reduziert werden müssen. Selbst bei aufwändigen Systemen, die einen großen Platzbedarf aufweisen, können so nur Bandgeschwindig-

keiten von unter 2 m/s erreicht werden. Dadurch verringert sich allerdings insgesamt auch der Durchsatz und somit die Effizienz des Brecherprozesses. Darüber hinaus dürfen sich bei derartigen Verfahren die Körner auf der Fördereinheit nicht überlappen, was allerdings im realistischen Förderbetrieb unvermeidbar ist.

**[0014]** Um vor diesem Hintergrund den Referenzkorndurchmesser, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumsanteils des Ausgabekorns ist, auch bei Überlappungen zuverlässig bei Fördergeschwindigkeiten von mehr als 2 m/s zu erfassen, ohne dass hierfür konstruktiv aufwendige Maßnahmen getroffen werden müssen, wird vorgeschlagen, dass abschnittsweise in einem Erfassungsbereich von einem Tiefensensor ein Tiefenbild des am Tiefensensor vorbeigeförderten Ausgabekorns erfasst wird, wobei das erfasste zweidimensionale Tiefenbild einem vorab trainierten, faltendem neuronalen Netzwerk zugeführt wird, das wenigstens drei hintereinanderliegende Faltungsebenen, sogenannte convolution layer, und einen nachgelagerten Referenzkorndurchmesserklassifizierer aufweist, der beispielsweise als ein sogenannter fully connected layer ausgeführt sein kann und dessen Ausgangswert als Referenzkorndurchmesser ausgegeben wird, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumsanteils des Ausgabekorns ist. Der Referenzkorndurchmesserklassifizierer kann aber auch aus mehreren Mengenklassifizierern gebildet sein, die den der Größe nach aufsteigend sortierten Klassen eines Korngrößenhistogramms zugeordnet sind. Dies hat den besonderen Vorteil, dass der vorgegebene Volumsanteil nachträglich, das heißt nach dem Trainieren des neuronalen Netzwerks verändert werden kann. Der Referenzkorndurchmesserklassifizierer kann aber auch aus mehreren Mengenklassifizierern gebildet sein, die den der Größe nach aufsteigend sortierten Klassen einer Siebkennlinie zugeordnet sind, sodass der Volumsanteil bzw. Siebdurchgang einfacher ermittelt werden kann. Dabei liegt die Überlegung zugrunde, dass bei der Verwendung von zweidimensionalen Tiefenbildern die zur Referenzkorndurchmesserbestimmung notwendigen Informationen aus den Tiefeninformationen extrahiert werden können, nachdem ein hierfür eingesetztes neuronales Netzwerk mit Trainingstiefenbildern mit bekannten Referenzkorndurchmessern trainiert wurde. Die Faltungsebenen reduzieren dabei die Eingangstiefenbilder zu einer Reihe von Einzelmerkmalen, die wiederum vom nachgelagerten Referenzkorndurchmesserklassifizierer bewertet werden, sodass im Ergebnis der Referenzkorndurchmesser, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumsanteils des im Eingangstiefenbild abgebildeten Ausgabekorns ist, ermittelt werden kann. Die Anzahl der vorgesehenen Faltungsebenen, die jeweils von einer Pooling-Ebene zur Informationsreduktion gefolgt sein können, kann je nach verfügbarer Rechenleistung bei wenigstens drei, vorzugsweise bei fünf, liegen. Zwischen den Faltungsebenen und dem nachgelagerten Referenzkorndurchmesserklassifizierer kann in bekannter Weise eine Ebene zur Dimensionsreduktion, ein sogenannter flattening layer, vorgesehen sein. Da im Tiefenbild je Bildpunkt der Abstand des abgebildeten Ausgabekorns zum Tiefensensor mit nur einem Wert abgebildet wird, kann im Gegensatz zur Verarbeitung von Farbbildern die zu verarbeitende Datenmenge reduziert, das Messverfahren beschleunigt und der für das neuronale Netzwerk erforderliche Speicherbedarf verringert werden. Dadurch kann das neuronale Netzwerk auf günstigen KI-Parallelrecheneinheiten mit GPU-Unterstützung implementiert und das Verfahren unabhängig von der Farbe des Schüttgutes eingesetzt werden. Auch kann der Referenzkorndurchmesser durch die Beschleunigung des Messverfahrens selbst bei Förderbandgeschwindigkeiten von 3m/s, bevorzugter Weise 4m/s, bestimmt werden. Die genannte Reduktion der Datenmenge im Tiefenbild und damit im neuronalen Netzwerk senkt zusätzlich die Fehleranfälligkeit für die korrekte Bestimmung des Referenzkorndurchmessers, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumsanteils des Ausgabekorns ist. Die Verwendung von Tiefenbildern hat im Gegensatz zu Farb- oder Graustufenbildern den zusätzlichen Vorteil, dass das Messverfahren weitgehend unabhängig von sich ändernden Belichtungsbedingungen ist. Als neuronales Netzwerk kann beispielsweise ein üblicherweise nur für Farbbilder verwendetes vgg16 Netzwerk (Simonyan / Zisserman, Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition, 2015) zum Einsatz kommen, das lediglich auf einen Kanal, nämlich für die Werte der Tiefenbildpunkte, reduziert ist. Das Tiefenbild kann beispielsweise mit einer 3D-Kamera erfasst werden, da diese aufgrund des geringeren Platzbedarfes auch bei geringem Raumangebot oberhalb des Ausgabekorns im Brecher angeordnet werden kann. Um Schwan-

kungen bei der Erfassung der Korngrößenverteilung und / oder des Volumens auszugleichen und fehlerhafte Ausgabewerte des neuronalen Netzwerkes zu kompensieren, können darüber hinaus mehrere aufeinanderfolgende Ausgangswerte gemittelt und der Mittelwert als die im Erfassungsbereich vorhandene Korngrößenverteilung und / oder als das im Erfassungsbereich vorhandene Materialvolumen ausgegeben werden.

**[0015]** Das Trainieren des neuronalen Netzwerkes wird erschwert und die Messgenauigkeit nimmt im laufenden Betrieb ab, wenn ausgabekornfremde Elemente im Erfassungsbereich des Tiefensensors liegen. Dazu zählen beispielsweise vibrierende Bauteile eines Förderbandes selbst, oder aber andere Maschinenelemente. Zur Vermeidung der daraus entstehenden Störungen wird vorgeschlagen, dass aus dem Tiefenbild und/oder dem Trainingstiefenbild die Werte jener Bildpunkte entfernt werden, deren Tiefe einem vorab erfassten Abstand zwischen Tiefensensor und einem Hintergrund für diesen Bildpunkt entspricht oder diesen Abstand überschreitet. Dadurch können störende Bildinformationen, hervorgerufen beispielsweise durch Vibrationen des Förderbandes, entfernt und sowohl die Tiefenbilder als auch die Trainingstiefenbilder auf die für die Vermessung relevanten Informationen beschränkt werden.

**[0016]** Das Training des neuronalen Netzwerkes erfordert große Mengen an Trainingstiefenbildern, die das zu erfassende Ausgabekorn möglichst exakt repräsentieren. Der Arbeitsaufwand um die notwendige Menge an Ausgabekorn zu vermessen ist allerdings extrem hoch. Um dem neuronalen Netz dennoch ausreichende Trainingstiefenbilder zur Verfügung zu stellen, um den Referenzkorndurchmesser zu bestimmen, wird vorgeschlagen, dass zunächst Beispieltiefenbilder je eines Beispielkornes mit bekanntem Korndurchmesser erfasst und gemeinsam mit dem Korndurchmesser abgespeichert werden, wonach mehrere Beispieltiefenbilder zufällig zu einem Trainingstiefenbild zusammengesetzt werden, dem der Referenzkorndurchmesser der zusammengesetzten Beispieltiefenbilder zugeordnet wird, wonach das Trainingstiefenbild eingangsseitig und der zugeordnete Referenzkorndurchmesser ausgangsseitig dem neuronalen Netzwerk zugeführt und die Gewichte der einzelnen Netzwerkknoten in einem Lernschritt angepasst werden. Der Trainingsmethode liegt also die Überlegung zugrunde, dass durch die Kombination von Beispieltiefenbildern vermessener Beispielkörner mannigfaltige Kombinationen an Trainingstiefenbildern erstellt werden können. Es genügt also, Beispieltiefenbilder verhältnismäßig weniger Beispielkörner mit ihrem Korndurchmesser zu erfassen, um eine große Anzahl an Trainingstiefenbildern zu generieren, mit denen das neuronale Netzwerk trainiert werden kann. Zum Training des neuronalen Netzwerkes werden in den einzelnen Trainingsschritten in bekannter Weise die Gewichte zwischen den einzelnen Netzwerkknoten so angepasst, dass der tatsächliche Ausgabewert dem vorgegebenen Ausgabewert am Ende des neuronalen Netzwerkes ehestmöglich entspricht. Dabei können an den Netzwerkknoten unterschiedliche Aktivierungsfunktionen vorgegeben werden, die dafür maßgeblich sind, ob ein am Netzwerkknoten anliegender Summenwert an die nächste Ebene des neuronalen Netzwerkes weitergegeben wird. Zur Tiefenbildverarbeitung wird auch hier vorgeschlagen, dass aus dem Tiefenbild die Werte jener Bildpunkte entfernt werden, deren Tiefe einem vorab erfassten Abstand zwischen Tiefensensor und dem Hintergrund für diesen Bildpunkt entspricht oder diesen Abstand überschreitet. Dadurch weisen die Trainingstiefenbilder und die Tiefenbilder des gemessenen Ausgabekorns nur die für die Vermessung relevanten Informationen auf, wodurch ein stabileres Trainingsverhalten erreicht und die Erkennungsrate bei der Anwendung erhöht wird. Über die Auswahl der Beispiel- bzw. der aus ihnen zusammengesetzten Trainingstiefenbilder kann das neuronale Netz auf beliebige Arten von Schüttgut trainiert werden.

**[0017]** Um das Trainingsverhalten und die Erkennungsrate weiter zu verbessern, wird vorgeschlagen, dass die Beispieltiefenbilder mit zufälliger Ausrichtung zu einem Trainingstiefenbild zusammengesetzt werden. Dadurch wird bei gegebener Anzahl an Körnern pro Beispieltiefenbild die Anzahl an möglichen Anordnungen der Körner deutlich erhöht, ohne dass mehr Beispieltiefenbilder generiert werden müssen und eine Überanpassung des neuronalen Netzwerkes wird vermieden.

**[0018]** Eine Vereinzelung der Körner des Ausgabekorns kann entfallen und größere Ausgabekornmengen können bei gleichbleibender Fördergeschwindigkeit des Förderbandes bestimmt

werden, wenn die Beispieltiefenbilder mit teilweisen Überlappungen zu einem Trainingstiefenbild zusammengesetzt werden, wobei der Tiefenwert des Trainingstiefenbilds im Überlappungsbereich der geringsten Tiefe beider Beispieltiefenbilder entspricht. Um realistische Ausgabekornverteilungen zu erfassen, müssen die Fälle berücksichtigt werden, in denen zwei Körner aufeinander zu liegen kommen. Das neuronale Netzwerk kann dahingehend trainiert werden, dass es solche Überlappungen erkennt, und das Volumen der Beispielkörner trotzdem ermitteln kann.

**[0019]** In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand beispielsweise dargestellt. Es zeigen

- [0020]** Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Beschleunigungsvorganges bei der Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens,
- [0021]** Fig. 2 eine Verschleißteilkennlinie zwischen dem Verschleiß eines Verschleißteils und dem zur Beschleunigung erforderlichen Energieaufwand für eine erste Anordnung eines Verschleißteils an einer Antriebswelle,
- [0022]** Fig. 3 eine der Fig. 2 entsprechende Verschleißteilkennlinie für eine zweite Anordnung eines Verschleißteils an einer Antriebswelle,
- [0023]** Fig. 4 eine der Fig. 2 entsprechende Verschleißteilkennlinie für eine dritte Anordnung eines Verschleißteils an einer Antriebswelle und
- [0024]** Fig. 5 eine Detailansicht eines Verschleißteils und einer mit diesem zusammenwirkenden Prallplatte nach der Fig. 1 in einem größeren Maßstab.

**[0025]** Ein erfindungsgemäßes Verfahren kann zur Verschleißerkennung bei Brechern mit einem an einer Antriebswelle 1 gelagertem Verschleißteil 2 in Leerfahrt eingesetzt werden. Dabei wird die Antriebswelle 1 von einer Startwinkelgeschwindigkeit  $\omega_1$  auf eine Endwinkelgeschwindigkeit  $\omega_2$  mit vorgegebener Beschleunigung beschleunigt und die dazu erforderliche Antriebsenergie ermittelt, wonach der Verschleiß des Verschleißteils 2 als der der erforderlichen Antriebsenergie in einer vorgegebenen Verschleißteilkennlinie 3, 4, 5 zugeordnete Wert ermittelt wird. Der Brecher kann beispielsweise ein Prallbrecher mit einer Brechkammer 6 sein, wobei das Verschleißteil 2 eine oder mehrere Schlagleisten umfassen kann, wie dies in Fig. 1 schematisch angedeutet wird. Das Verschleißteil 2 ist dabei auf einem mit der Antriebswelle 1 antriebsverbundenen Rotor 7 angeordnet und wirkt mit wenigstens einer Prallplatte 8 unter Ausbildung eines Brechspaltes zusammen.

**[0026]** Fig. 2 bis 4 zeigen jeweils für unterschiedliche Anordnungen eines Verschleißteils 2 an der Antriebswelle 1 ermittelte Verschleißteilkennlinien 3, 4 und 5, wobei jeweils eine lineare Regressionsgerade als Approximation zu den berechneten Einzelwerten erstellt wurde. Die in Fig. 2 gezeigte Verschleißteilkennlinie 3 bezieht sich dabei auf eine Anordnung von vier Schlagleisten mit vorgegebener Geometrie und Dichte. Diese Anordnung wird auch schematisch in der Fig. 1 angedeutet. Verschleißteilkennlinie 4 der Fig. 3 bezieht sich auf eine Anordnung, die zwei Schlagleisten gemäß der Verschleißteilkennlinie 3 sowie zwei Blindleisten umfasst. Schließlich wird in Fig. 4 beispielhaft eine dritte Anordnung angeführt, die ebenfalls zwei Blindleisten sowie zwei, einen definierten Teilverschleiß aufweisende Schlagleisten gemäß Verschleißteilkennlinie 3 umfasst.

**[0027]** Im Falle eines Prallbrechers kann zur Bestimmung einer der Verschleißteilkennlinien 3, 4, 5 für eine jeweils vorgegebene Anordnung des Verschleißteils 2 an der Antriebswelle 1 mit bekannter Verschleißteildichte bzw. Geometrie und somit bekanntem Trägheitsmoment zunächst eine Referenzfahrt bei vorgegebener Beschleunigung von einer Startwinkelgeschwindigkeit  $\omega_1$  auf eine Endwinkelgeschwindigkeit  $\omega_2$  durchgeführt werden. Dabei lässt sich die Antriebsleistung messen, woraus sich in weiterer Folge wiederum der benötigte Referenzenergieaufwand für den Beschleunigungsvorgang ermitteln lässt. Damit kann unter der Annahme geometrischer Vereinfachungen sowie eines gleichmäßig erfolgenden Verschleißes diesem Referenzenergieaufwand der Verschleißwert 0 bezogen auf die Änderung des Verschleißteils in seiner Geometrie zugeordnet werden. Um in weiterer Folge eine Verschleißteilkennlinie zu bestimmen, kann der theoretische Energieaufwand bei der vorgegebenen Beschleunigungsfahrt für beliebige Verschleiß-

werte ermittelt werden, indem über die Geometrieänderung des Verschleißteils bei vorgegebener Dichte des Verschleißteils dessen Masse und über das an der Antriebswelle wirkende Trägheitsmoment die erforderliche Antriebsleistung und somit der theoretische Energieaufwand bei der Beschleunigung von einer Startwinkelgeschwindigkeit  $\omega_1$  auf eine Endwinkelgeschwindigkeit  $\omega_2$  ermittelt wird. Im einfachsten Fall handelt es sich um einen im Wesentlichen linearen Zusammenhang zwischen dem für den vorgegebenen Beschleunigungsvorgang erforderlichen Energieaufwand in kJ und der Änderung des Verschleißteils 2 in seiner Geometrie in mm. Beispielsweise kann als Verschleiß die Längenänderung des Verschleißteils in einer Abnutzungsrichtung herangezogen werden.

**[0028]** Um daher den Verschleiß für eine bestimmte Anordnung des Verschleißteils 2 an der Antriebswelle i mithilfe eines erfindungsgemäßen Verfahrens zu ermitteln, können die unterschiedlichen Verschleißteilkennlinien 3, 4, 5 einem Verschleißteilkennliniensatz zugeordnet und aus diesem ausgewählt werden.

**[0029]** Wie dies in Fig. 5 angedeutet wird, kann mithilfe eines erfindungsgemäßen Verfahrens auch der Prallplattenverschleiß einer Prallplatte 8 im Betrieb des Prallbrechers ermittelt werden. Dabei wird für das Ausgabekorn des Prallbrechers jener Ist-Referenzkorndurchmesser ermittelt, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumsanteils des Ausgabekorns ist. Der Gesamtverschleiß wird demnach als Differenz zwischen einem dem ermittelten Ist-Referenzkorndurchmesser zugeordneten Ist-Brechspalt K und einem vorgegebenen Soll-Brechspalt angegeben. Ist daher der Gesamtverschleiß, sowie der Verschleiß S eines Verschleißteils 2 bekannt, kann der Prallplattenverschleiß P als Differenz zwischen dem dem Ist-Referenzkorndurchmesser zugeordneten Ist-Brechspalt K und der Summe aus dem Verschleiß S eines Verschleißteils 2 und dem vorgegebenen Soll-Brechspalt B bestimmt werden.

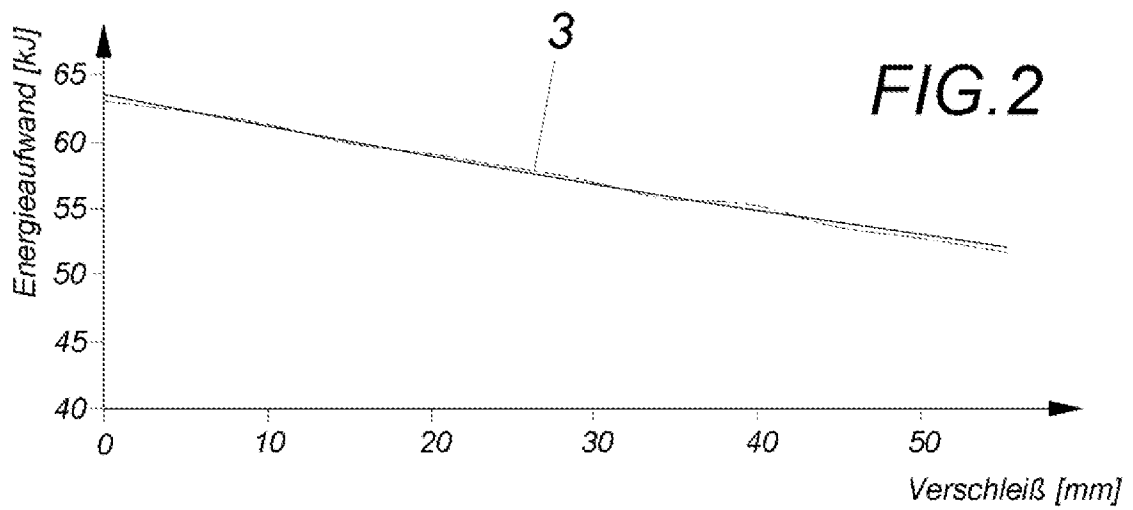
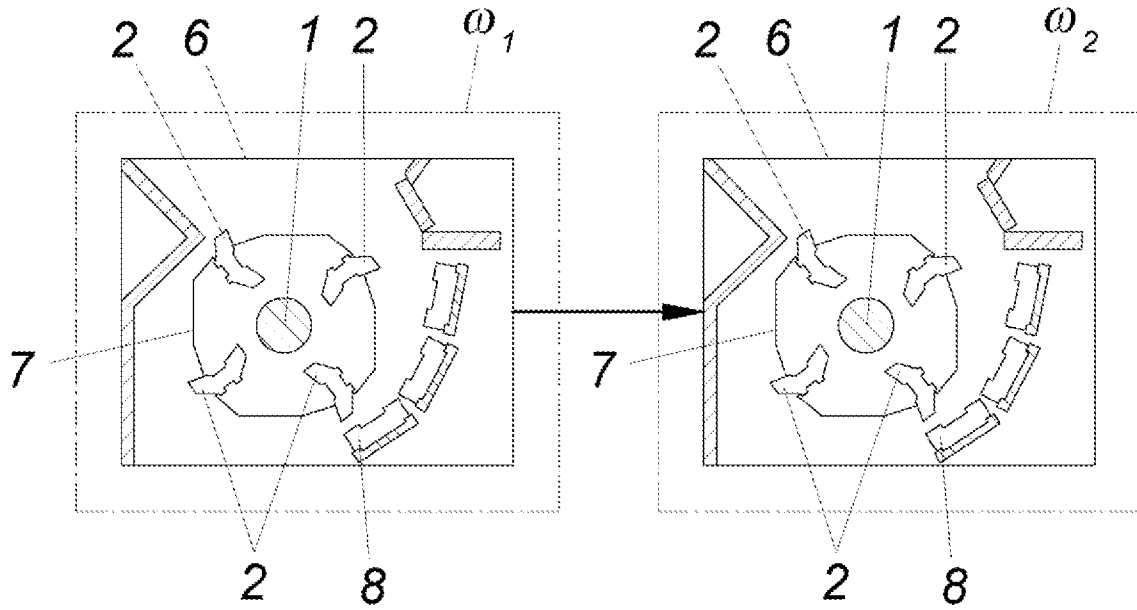
## Patentansprüche

1. Verfahren zur Verschleißerkennung bei Brechern in Leerfahrt mit einem an einer Antriebswelle (1) gelagertem Verschleißteil (2), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Antriebswelle (1) von einer Startwinkelgeschwindigkeit ( $\omega_1$ ) auf eine Endwinkelgeschwindigkeit ( $\omega_2$ ) mit vorgegebener Beschleunigung beschleunigt und die dazu erforderliche Antriebsenergie ermittelt wird, wonach der Verschleiß des Verschleißteils (2) als der der erforderlichen Antriebsenergie in einer vorgegebenen Verschleißteilkennlinie (3, 4, 5) zugeordnete Wert ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die vorgegebene Verschleißteilkennlinie (3, 4, 5) für die Anordnung des Verschleißteils (2) an der Antriebswelle (1) aus einem Verschleißteilkennliniensatz möglicher unterschiedlicher Anordnungen ausgewählt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verschleißteil (2) eine oder mehrere mit einer Prallplatte (8) zusammenwirkende Schlagleisten eines Prallbrechers sind, für dessen Ausgabekorn jener Ist- Referenzkorndurchmesser ermittelt wird, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumsanteils des Ausgabekorns ist, wobei der Gesamtverschleiß als Differenz zwischen einem dem Ist- Referenzkorndurchmesser zugeordneten Ist-Brechspalt (K) und einem vorgegebenen Soll-Brechspalt (B) bestimmt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Prallschwinge für einen vorgegebenen Soll-Brechspalt (B) des Prallbrechers um den Betrag des Gesamtverschleißes näher an das Verschleißteil (2) herangeführt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verschleißteil (2) eine oder mehrere mit einer Prallplatte (8) zusammenwirkende Schlagleisten eines Prallbrechers sind, für dessen Ausgabekorn jener Ist-Referenzkorndurchmesser ermittelt wird, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumsanteils des Ausgabekorns ist, wobei der Prallplattenverschleiß (P) als Differenz zwischen einem dem Ist- Referenzkorndurchmesser zugeordneten Ist-Brechspalt (K) und der Summe aus dem Verschleiß (S) einer Schlagleiste und einem vorgegebenen Soll-Brechspalt (B) bestimmt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Verschleißteil (2) mit bekanntem Verschleiß (S) für unterschiedliche Brechspalte der Referenzkorndurchmesser ermittelt wird, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumsanteils des Ausgabekorns ist und dem jeweiligen Brechspalt in einer Brechspaltkennlinie zugeordnet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ist-Referenzkorndurchmesser quer zur Förderrichtung des Ausgabekorns an unterschiedlichen Stellen ermittelt und für jede Stelle der resultierende Prallplattenverschleiß (P) bestimmt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass abschnittsweise in einem Erfassungsbereich von einem Tiefensensor ein Tiefenbild des am Tiefensensor vorbeigeförderten Ausgabekorns erfasst wird, wobei das erfasste zweidimensionale Tiefenbild einem vorab trainierten, faltendem neuronalen Netzwerk zugeführt wird, das wenigstens drei hintereinanderliegende Faltungsebenen und einen nachgelagerten Referenzkorndurchmesserklassifizierer aufweist, dessen Ausgangswert als Korndurchmesser ausgegeben wird, der größer als der jeweilige Korndurchmesser eines vorgegebenen Volumsanteils des Ausgabekorns ist.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus dem Tiefenbild die Werte jener Bildpunkte entfernt werden, deren Tiefe einem vorab erfassten Abstand zwischen Tiefensensor und einem Hintergrund für diesen Bildpunkt entspricht oder diesen Abstand überschreitet.

10. Verfahren zum Trainieren eines neuronalen Netzwerks für ein Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass zunächst Beispieltiefenbilder je eines Beispielkornes mit bekanntem Korndurchmesser erfasst und gemeinsam mit dem Korndurchmesser abgespeichert werden, wonach mehrere Beispieltiefenbilder zufällig zu einem Trainingstiefenbild zusammengesetzt werden, dem der Referenzkorndurchmesser der zusammengesetzten Beispieltiefenbilder zugeordnet wird, wonach das Trainingstiefenbild eingangsseitig und der zugeordnete Referenzkorndurchmesser ausgangsseitig dem neuronalen Netzwerk zugeführt und die Gewichte der einzelnen Netzwerkknoten in einem Lernschritt angepasst werden.

**Hierzu 3 Blatt Zeichnungen**

FIG.1



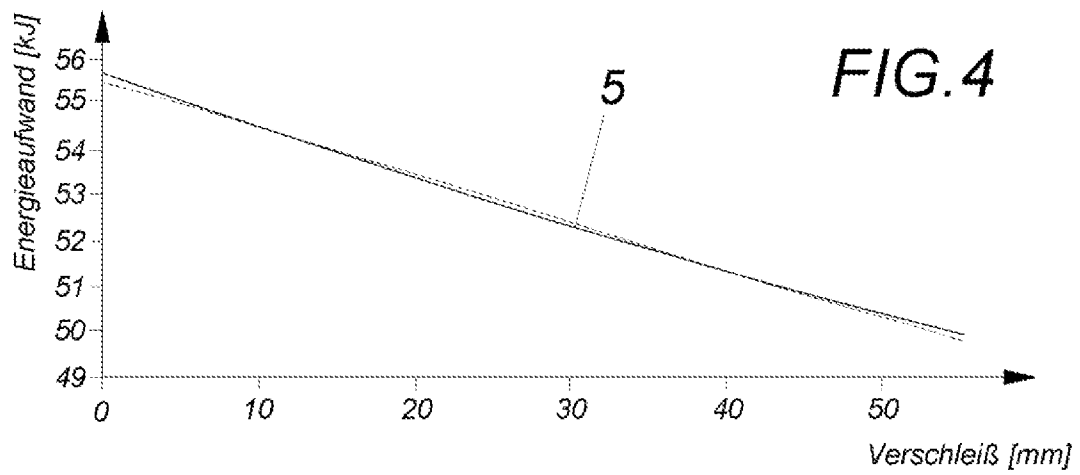
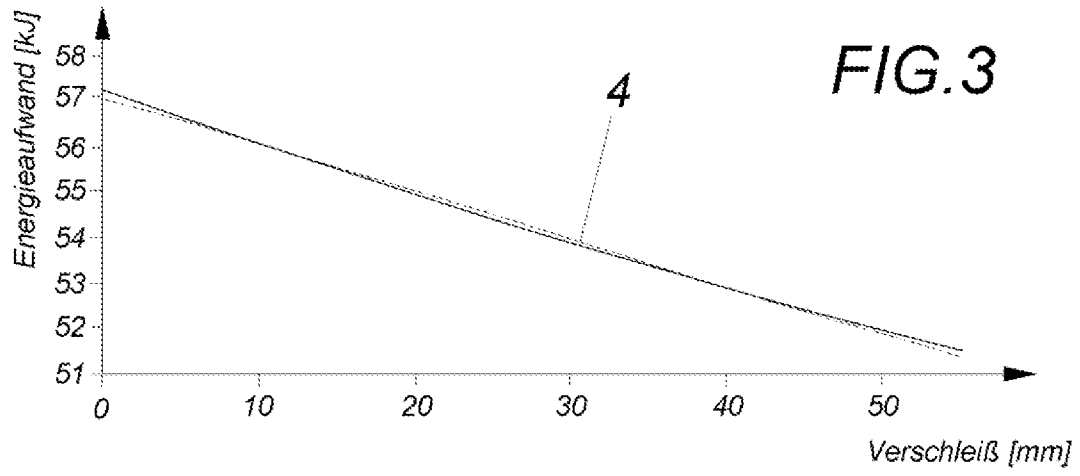


FIG.5

