



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
25.05.2022 Patentblatt 2022/21

(21) Anmeldenummer: **20208398.6**

(22) Anmeldetag: **18.11.2020**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C21B 5/00 (2006.01) **C21B 7/00** (2006.01)
C21B 7/10 (2006.01) **C21B 7/24** (2006.01)
F27B 1/26 (2006.01) **F27B 1/28** (2006.01)
F27D 19/00 (2006.01) **F27D 21/00** (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F27B 1/26; C21B 5/006; C21B 7/24; F27B 1/28;
F27D 19/00; F27D 21/00; F27D 21/0014;
F27D 21/0028; C21B 2300/04; F27D 2019/0003;
F27D 2019/0009; F27D 2019/0015;
F27D 2021/0007; F27D 2021/005

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

(71) Anmelder: **Primetals Technologies Austria GmbH**
4031 Linz (AT)

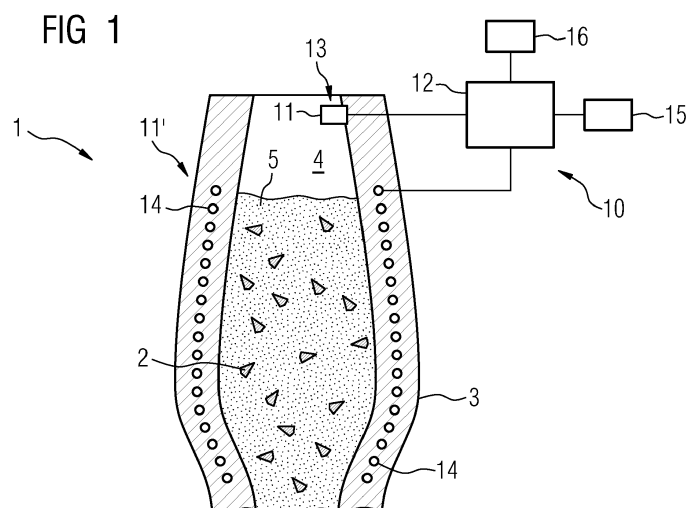
(72) Erfinder:
• **Wollhofen, Richard**
4020 Linz (AT)
• **Bettinger, Dieter**
4040 Plesching (AT)
• **Schaler, Martin**
4030 Linz (AT)

(74) Vertreter: **Metals@Linz**
Primetals Technologies Austria GmbH
Intellectual Property Upstream IP UP
Turmstraße 44
4031 Linz (AT)

(54) **CHARAKTERISIERUNG EINES VERHÜTTUNGSPROZESSES**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren (100) und eine Vorrichtung (10) zur Charakterisierung eines Verhüttungsprozesses sowie eine Anlage (1) zur Verhüttung von Metallerzen (2). Dabei wird ein Datensatz (20) bereitgestellt, welcher eine räumliche Verteilung (21) von mehreren Parameterwerten (22) eines Prozessparameters des Verhüttungsprozesses charakterisiert.

Erfindungsgemäß wird auf Grundlage des Datensatzes (20) eine Orthonormaldarstellung der räumlichen Verteilung (21) der mehreren Parameterwerte (22) in einer Orthonormalbasis ermittelt und ein Satz von Basisoeffizienten (a_j) der ermittelten Orthonormaldarstellung ausgegeben.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Charakterisierung eines Verhüttungsprozesses sowie eine Anlage zur Verhüttung von Metallerzen.

[0002] Prozesse in Verhüttungsanlagen, insbesondere in einem Hochofen ablaufende metallurgische Vorgänge, werden üblicherweise streng überwacht. Zur Automatisierung und Qualitätssicherung kann dabei eine Vielzahl von verschiedenen Sensoren zum Einsatz kommen. Mithilfe dieser Sensoren lassen sich verschiedene Prozessparameter erfassen, welche zum Beispiel Aussagen und/oder Vorhersagen über Reaktionsverläufe und -geschwindigkeiten erlauben.

[0003] Beim Betrieb eines Hochofens kann es beispielsweise zum "Hängen" der sogenannten Möllersäule, d. h. der Schüttung aus Metallerz, Koks und gegebenenfalls weiteren Zuschlagstoffen, im Hochofenschacht kommen. Dafür charakteristische Änderungen zum Beispiel in der Sinkgeschwindigkeit der Mölleroberfläche oder im Druck und der Temperatur von aus der Möllersäule austretendem Gichtgas können mithilfe solcher Sensoren erfasst werden und ermöglichen das rechtzeitige Einleiten von Gegenmaßnahmen.

[0004] Mit den Fortschritten in der Sensortechnik und der Datenverarbeitung sind weitere Möglichkeiten zur Überwachung von Verhüttungsprozessen hinzugekommen. Beispielsweise können mittlerweile mehrdimensionale Messungen vorgenommen werden. So können etwa Sensordaten von zweidimensionalen akustischen Temperaturmessungen an der Hochofengicht oder zweidimensionale Radarmessungen des Höhenprofils der Schüttung bzw. der Möllersäule bereitgestellt werden. Solche Daten, zum Beispiel in Form von entsprechenden Bildern, können in anschaulicher Weise wertvolle Rückschlüsse über den gegenwärtigen Zustand des Verhüttungsprozesses liefern.

[0005] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Charakterisierung von Verhüttungsprozessen weiter zu verbessern, insbesondere eine systematische Analyse einer räumlichen Verteilung von Parameterwerten eines Prozessparameters zu ermöglichen.

[0006] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Charakterisierung eines Verhüttungsprozesses sowie eine Anlage zur Verhüttung von Metallerz gemäß den unabhängigen Ansprüchen.

[0007] Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0008] Bei dem erfindungsgemäßen, insbesondere computerimplementierten, Verfahren zur Charakterisierung eines Verhüttungsprozesses wird ein, insbesondere sensorisch erzeugter, Datensatz bereitgestellt. Der Datensatz charakterisiert dabei eine räumliche Verteilung von mehreren Parameterwerten eines Prozessparameters des Verhüttungsprozesses. Erfindungsgemäß wird auf Grundlage des Datensatzes eine Orthonormal-

darstellung der räumlichen Verteilung der mehreren Parameterwerte in einer Orthonormalbasis ermittelt und ein Satz von Basiskoeffizienten der ermittelten Orthonormaldarstellung ausgegeben.

[0009] Eine räumliche Verteilung von mehreren Parameterwerten im Sinne der Erfindung ist ein Satz von Parameterwerten, die ein Prozessparameter an mehreren räumlich verschiedenen Orten, vorzugsweise zu einem festen Zeitpunkt, annimmt. Ein Datensatz, welcher eine solche räumliche Verteilung von mehreren Parameterwerten charakterisiert, kann auch als mehrdimensionaler Datensatz bezeichnet werden, da die räumliche Verteilung üblicherweise in wenigstens zwei Dimensionen vorliegt. Die räumliche Verteilung der Parameterwerte kann sich gegebenenfalls als Bild visualisieren lassen. Insbesondere können Sensordaten, welche eine solche räumliche Verteilung von Parameterwerten charakterisieren und damit ein Beispiel für einen (mehrdimensionalen) Datensatz sind, als Bild vorliegen.

[0010] Eine Orthonormaldarstellung einer räumlichen Verteilung von mehreren Parameterwerten im Sinne der Erfindung ist eine Zerlegung der räumlichen Verteilung in mehrere Anteile. Diese Anteile entsprechen vorzugsweise Anteilen von vorgegebenen Basisverteilungen. Die Basisverteilungen können auch als Basisfunktionen oder Basis Komponenten bezeichnet werden und haben bevorzugt die Eigenschaft, im mathematischen Sinn orthogonal zueinander und normiert zu sein. In der Orthonormaldarstellung wird die räumliche Verteilung der Parameterwerte vorzugsweise als Linearkombination einer vorgegebenen Anzahl von Basis Komponenten angegeben. In der Orthonormaldarstellung kann die räumliche Verteilung der Parameterwerte insbesondere als Linearkombination der Basis Komponenten angenähert sein. Die die räumliche Verteilung konstituierenden oder zumindest approximierenden Basis Komponenten können dabei mit jeweils einem Basiskoeffizienten gewichtet sein. Die Basiskoeffizienten geben beispielsweise an, mit welcher Stärke die jeweilige Basisfunktion in der räumlichen Verteilung vorkommt. Anders gesagt zeigen die Basiskoeffizienten an, wie groß der Anteil der jeweiligen Basis Komponente an der vorliegenden Verteilung ist.

[0011] Ein Ausgeben eines Satzes von Basiskoeffizienten im Sinne der Erfindung ist ein Bereitstellen des Satzes von Basiskoeffizienten an einer Schnittstelle. Die Basiskoeffizienten können beispielsweise an einen Benutzer ausgegeben, zum Beispiel auf einem Bildschirm angezeigt, werden. Alternativ oder zusätzlich können die Basiskoeffizienten auch zur Speicherung an eine Speichereinrichtung ausgegeben werden. Ebenfalls denkbar ist, es, die Basiskoeffizienten an eine Steuerungseinrichtung zur Steuerung des Verhüttungsprozesses auszugeben.

[0012] Ein Aspekt der Erfindung basiert auf dem Ansatz, einen Datensatz, welcher einen Prozessparameter eines Verhüttungsprozesses orts aufgelöst charakterisiert, in ein Format zu transformieren, in welchem Cha-

rakteristika des Datensatzes durch - zumindest im Verhältnis zur Größe des Datensatzes - wenige Basiskoeffizienten ausgedrückt werden können. Ein solcher Datensatz enthält zum Beispiel eine Information zum Wert des Prozessparameters an verschiedenen Orten. Der Datensatz kann von einer Sensoreinrichtung beim orts-aufgelösten Erfassen des Prozessparameters erzeugt werden und damit die räumliche Verteilung von Parameterwerten des Prozessparameters liefern. Die Parameterwerte können entsprechend auch als Messwerte aufgefasst werden, die sich an verschiedenen Orten mithilfe der Sensoreinrichtung erfassen lassen. Durch die Transformation in das neue Format lässt sich der Datensatz - zum Beispiel durch einen Vergleich der Basiskoeffizienten - nicht nur leichter analysieren, sondern es kann auch eine Komprimierung der Datenmenge erzielt werden. Dies erleichtert die Speicherung der beim Erfassen des Prozessparameters erzeugten Daten.

[0013] Der Datensatz wird bei der Transformation in das neue Format vorzugsweise in eine vorgegebene Anzahl an Basiskomponenten einer Orthonormalbasis zerlegt. Dabei wird beispielsweise ermittelt, wie groß der Anteil der verschiedenen Basiskomponenten an der räumlichen Verteilung der Parameterwerte ist. Dieser Anteil kann durch die Basiskoeffizienten ausgedrückt werden. Die Basiskoeffizienten lassen sich als mathematisch fundierte Kennzahlen auffassen, welche den Verhüttungsprozess charakterisieren.

[0014] Die derart ermittelten Basiskoeffizienten werden vorzugsweise als Satz ausgegeben. Dieser Satz von Basiskoeffizienten kann als diskretes Spektrum einer Messung des Prozessparameters aufgefasst werden. Der Satz von Basiskoeffizienten enthält im Wesentlichen dieselbe Information wie der ursprüngliche Datensatz, jedoch in abstrakter und komprimierter Form. Dies kann eine Analyse signifikant erleichtern. Insbesondere ist es möglich, Trends eindeutiger und schneller zu erkennen.

[0015] Mit dieser Methode kann beispielsweise eine Radarmessung des Höhenprofils einer auch als Möllersäule bezeichneten Schüttung in einem Hochofen analysiert werden. Das sich aus der Radarmessung ergebende Bild lässt sich, gegebenenfalls nach einer Koordinatentransformation, in eine Linearkombination aus Zernike-Polynomen zerlegen, wobei gegebenenfalls auch andere orthonormale Funktionen denkbar sind. Die Zernike-Polynome können jeweils mit einem Zernike-Koeffizienten gewichtet werden. Die Zernike-Polynome entsprechen dabei einer Orthonormalbasis, und die Zernike-Koeffizienten entsprechen Basiskoeffizienten. Mit den Zernike-Koeffizienten kann das Höhenprofil systematisch bewertet werden, zum Beispiel indem die Koeffizienten mit den Koeffizienten eines vordefinierten Profils verglichen werden. Gegenüber einem Vergleich des sich aus der Radarmessung ergebenden Bilds mit einem vorgegebenen Bild hat dies zum Beispiel den Vorteil, dass wesentlich weniger Datenpunkte verarbeitet werden müssen.

[0016] In einer bevorzugten Ausführungsform wird der

Datensatz vor der Ermittlung der Orthonormaldarstellung an eine der Orthonormalbasis zugrundeliegende Geometrie angepasst. Zu diesem Zweck kann der Datensatz einer Koordinatentransformation unterzogen werden. Dadurch lässt sich die Ermittlung der Orthonormaldarstellung deutlich vereinfachen. Beispielsweise kann die räumliche Verteilung der Parameterwerte leichter in vorgegebene Basiskomponenten der Orthonormalbasis zerlegt werden. Somit lässt sich die zur Ermittlung der Anteile der Basiskomponenten am Datensatz notwendige Rechenleistung verringern und das Verfahren beschleunigen.

[0017] Eine der Orthonormalbasis zugrundeliegende Geometrie bezeichnet hierbei das Koordinatensystem, in dem die Orthonormalbasis besonders einfach ausgedrückt werden kann. In dieser Geometrie bzw. diesem Koordinatensystem weisen die Basiskomponenten zum Beispiel eine besonders einfache Form auf. Insbesondere können die Basiskomponenten in dieser Geometrie durch besonders einfache Funktionen wie trigonometrische Funktionen gegeben sein. Beispielsweise kann der Datensatz in ein Polarkoordinatensystem transformiert werden, um die durch ihn charakterisierte räumliche Verteilung der Parameterwerte durch eine Orthonormalbasis aus Zernike-Polynomen, Bessel-Polynomen oder Chebyshev-Polynomen darzustellen. Gegebenenfalls kann der Datensatz auch in ein Zylinderkoordinatensystem transformiert werden, um die räumliche Verteilung durch eine Orthonormalbasis aus Legendre-Fourier-Polynomen darzustellen. Alternativ kann der Datensatz in ein Kugelkoordinatensystem transformiert werden, um die räumliche Verteilung durch eine Orthonormalbasis aus Laguerre-Polynomen mit Kugelflächenfunktionen darzustellen. Denkbar ist auch, den Datensatz in ein kartesisches Koordinatensystem zu transformieren, um die räumliche Verteilung durch eine Orthonormalbasis aus Hermite-Gauss-Polynomen darzustellen.

[0018] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird vor der Ermittlung der Orthonormaldarstellung eine Orthonormalbasis ausgewählt, welche an eine dem Datensatz zugrundeliegenden Geometrie angepasst ist, d. h. mit der dem Datensatz zugrundeliegenden Geometrie korrespondiert. Dadurch kann gegebenenfalls auf eine Koordinatentransformation des Datensatzes verzichtet und somit Rechenleistung eingespart sowie das Verfahren beschleunigt werden.

[0019] Eine dem Datensatz zugrundeliegende Geometrie im Sinne der Erfindung kann hierbei durch die Form der Fläche oder des Volumens bestimmt sein, in der bzw. dem die Parameterwerte räumlich verteilt sind. In einer Fläche ringartig verteilten Parameterwerten können zum Beispiel Polarkoordinaten zugrunde liegen. Säulenartig verteilten Parameterwerten können dagegen Zylinderkoordinaten zugrunde liegen.

[0020] Beispielsweise liefert eine Ermittlung des Höhenprofils einer Schüttung im Schacht eines Hochofens (d. h. des Oberflächenprofils der Schüttung im Schacht) durch eine 2D-Radarmessung üblicherweise eine im

Wesentlichen scheibenförmige Verteilung von Höhenwerten. Eine ähnliche räumliche Verteilung von Temperaturwerten liefert auch eine schallbasierte 2D-Temperaturmessung am Gichtgas über der Schüttung. Die entsprechenden Datensätze lassen sich daher besonders gut in Polarkoordinaten ausdrücken und werden bevorzugt durch eine Orthonormalbasis aus Zernike-Polynomen dargestellt.

[0021] Einem Datensatz, der bei Verhüttungsprozessen zum Beispiel mit einem Sensornetz aus Temperatursensoren ermittelt wird, liegt üblicherweise eine andere Geometrie zugrunde. Solche Temperatursensoren können beispielsweise an Kühlkörpern für den Hochofenschacht angeordnet sein. Da solche Kühlkörper für gewöhnlich entlang der Schachtwandung angeordnet sind, korrespondiert die resultierende räumliche Verteilung der Parameterwerte im Wesentlichen mit einem Zylindermantel. Sie lässt sich daher besonders gut in Zylinderkoordinaten ausdrücken. Vorzugsweise wird ein entsprechender Datensatz daher durch eine Orthonormalbasis aus Legendre-Fourier-Polynomen dargestellt.

[0022] Die Temperaturverteilung in einem Herd des Hochofens am Grunde des Hochofenschachts, in den aufgeschmolzenes Eisenerz und Schlacke absinkt, kann dagegen mithilfe eines Sensornetzes aus einer Vielzahl von in der Wandung des Herds verbauten Temperatursensoren erfasst und zum Beispiel in Kugelkoordinaten dargestellt werden. Entsprechend werden in bevorzugter Weise Laguerre-Polynome mit Kugelflächenfunktionen als Orthonormalbasis ausgewählt.

[0023] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird vor der Ermittlung der Orthonormaldarstellung eine Orthonormalbasis auf Grundlage des Gram-Schmidtschen Orthonormalisierungsverfahrens erzeugt. Dadurch kann der Verhüttungsprozess auf besonders flexible Weise charakterisiert werden. Insbesondere kann so auch bei unklaren oder zumindest unbekannten Geometrien des Datensatzes eine Orthonormaldarstellung auf einfache und schnelle Weise ermittelt werden. Beispielsweise ist es denkbar, dass auf diese Weise auch bei räumlich variabel anordenbaren, etwa bei versetzbaren Sensoren einer Sensoreinrichtung immer eine im Hinblick auf die Komplexität von Berechnungen vorteilhafte Orthonormalbasis ausgewählt wird.

[0024] Es ist aber auch denkbar, eine Modifikation des Gram-Schmidtschen Orthonormalisierungsverfahrens oder ein anderes Orthonormalisierungsverfahren zu verwenden. Es lassen sich beispielsweise auch Householdertransformationen einsetzen, oder Givens-Rotationen, mit denen Rundungsfehler, die sich nachteilig auf die Orthogonalität der ermittelten Basiskomponenten auswirken, zumindest vermindert werden können. Ebenfalls ist es denkbar, ein Orthogonalisierungsverfahren einzusetzen und die dadurch erhaltenen Basiskomponenten anschließend, gegebenenfalls in einem separaten Verfahrensschritt, zu normieren. Beispielsweise kann das Gram-Schmidtsche Orthogonalisierungsverfahren eingesetzt werden und die daraus erhaltene or-

thogonale Basis normiert werden.

[0025] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der wenigstens eine Prozessparameter (i) eine Schüttungshöhe in einem Hochofen, (ii) eine Temperatur eines Gichtgases oder einer Hochofenwandung, (iii) ein Druck in einer Schüttung, (iv) eine Strahlungsintensität von in einem Hochofen erzeugter elektromagnetischer Strahlung, (v) eine elektromotorische Kraft an der Außenseite der Wandung des Hochofens, und/oder (vi) eine chemische Komposition einer Schüttung. Durch eine auf der Orthonormaldarstellung eines entsprechenden Datensatzes basierende Analyse der jeweiligen Parameterwertverteilung lässt sich ein Verhüttungsprozess, gegebenenfalls auch Subprozesse wie zum Beispiel die Reduktion von Bestandteilen des Möllers oder das Aufschmelzen von Metallerzen, besonders gut charakterisieren.

[0026] Es ist auch denkbar, mit verschiedenen Prozessparametern korrespondierende Datensätze zu verarbeiten und der Charakterisierung des Verhüttungsprozesses entsprechend mehrere Sätze von Basiskoeffizienten zugrunde zu legen. Dies erlaubt eine besonders differenzierte Analyse und damit eine besonders fundierte und präzise Beurteilung des Verhüttungsprozesses.

[0027] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die Orthonormaldarstellung auf einem durch eine zur Erfassung des Prozessparameters eingerichtete Sensoreinrichtung definierten Gitter ermittelt. Das Gitter kann insbesondere durch eine räumliche Auflösung der Sensoreinrichtung definiert sein. Beispielsweise kann das Gitter durch die Anordnung von Sensoren, die Teil eines Sensornetzes der Sensoreinrichtung sind, definiert sein. Der Ermittlung der Orthonormaldarstellung kann so auf Grundlage einer diskreten Berechnung erfolgen. Es ist zum Beispiel möglich, mithilfe der Diskretisierung durch das Gitter ein Gleichungssystem aufzustellen und zu lösen. Dadurch können aufwändigere Berechnungsverfahren für die Basiskomponenten, etwa über direkte Integration, vermieden werden.

[0028] Mithilfe des definierten Gitters können sensorisch erfasste Parameterwerte als Stützpunkte einer mehrdimensionalen Funktion interpretiert werden. Der Funktionswert an einem bestimmten Gitterpunkte entspricht dann vorzugsweise dem dort gemessenen Parameterwert. Die sich aus dem definierten Gitter ergebenden Koordinaten können auch leicht in ein anderes Koordinatensystem, zum Beispiel Polarkoordinaten oder Kugelkoordinaten, transformiert werden.

[0029] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird zum Ermitteln der Orthonormaldarstellung ein überbestimmtes, insbesondere lineares, Gleichungssystem aufgestellt. Ein solches Gleichungssystem kann beispielsweise durch das Abschneiden einer mathematischen Reihe, deren Terme die Basiskomponenten in der Orthonormaldarstellung bilden, nach einer vorgegebenen Anzahl von Basiskomponenten erzeugt werden. Der Satz von Basiskoeffizienten wird dann vorzugsweise auf der Grundlage einer Lösung des Gleichungssystems mit-

tels der Methode der geringsten Fehlerquadrate ermittelt. Dies erlaubt eine effiziente und zuverlässige Bestimmung der Basiskoeffizienten.

[0030] Alternativ kann der Satz von Basiskoeffizienten auch auf Grundlage einer Lösung des Gleichungssystems mittels einer verallgemeinerten Methode der kleinsten Quadrate gelöst werden. Grundsätzlich sind aber auch andere Normen als die euklidische denkbar, etwa die sogenannte Summennorm (1-Norm).

[0031] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Anzahl der durch den Datensatz charakterisierten Parameterwerte wenigstens um einen Faktor 5 größer als eine Anzahl von Basiskomponenten der Orthonormalbasis, auf denen die Orthonormaldarstellung basiert. Bei einer verhältnismäßig kleineren Anzahl von Parameterwerten gegenüber der Anzahl von Basiskomponenten kann ein sogenanntes "overfitting" auftreten. Dies äußert sich beispielsweise in starken Schwankungen und einer gegebenenfalls unphysikalischen Rekonstruktion der räumlichen Verteilung der Parameterwerte auf Grundlage der ausgegebenen Basiskoeffizienten.

[0032] Je nach gewählter Orthonormalbasis kann dieses Verhältnis von Parameterwerten und Basiskomponenten vorteilhaft erfüllt werden, indem die Orthonormaldarstellung mit 36 bis 66 Basiskomponenten der Orthonormalbasis durchgeführt wird. D. h., dass die Orthonormaldarstellung bevorzugt durch eine Linearkombination von 36 bis 66 Termen, insbesondere den ersten 36 bis 66 Basiskomponenten der Orthonormalbasis, basiert. In Versuchen hat sich gezeigt, dass eine Anzahl von 36 bis 66 Basiskomponenten günstig sowohl im Hinblick auf die Aussagekraft der dadurch erhaltenen Basiskoeffizienten einerseits als auch im Hinblick auf den Speicherbedarf andererseits auswirkt. Mit 36 bis 66 Basiskomponenten kann zum Beispiel eine Kompression des Datensatzes um den Faktor 25 bis 50 erzielt werden.

[0033] Bei einer 2D-Radarmessung des Höhenprofils der Schüttung in einem Hochofenschacht können beispielsweise 1705 Messwerte bzw. Parameterwerte anfallen. Durch eine Orthonormaldarstellung mithilfe von Zernike-Polynomen bis zur siebten radialen Ordnung lassen sich daraus 36 Basiskoeffizienten ermitteln, bei einer Orthonormaldarstellung bis zur zehnten radialen Ordnung dagegen bereits 66 Basiskoeffizienten. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass der Speicherbedarf mit der (radialen) Ordnung quadratisch anwächst. Bei einer Entwicklung der räumlichen Verteilung der Parameterwerte bis zur zwölften radialen Ordnung liegt die Differenz zwischen der gemessenen Verteilung, d. h. dem Höhenprofil der Schüttung, und einer Rekonstruktion dieser Verteilung mithilfe der ermittelten Basiskoeffizienten bereits im Bereich der Korngröße der Schüttung bzw. der Auflösung des Radarsensors. Da die Rekonstruktion nicht genauer sein kann als der ursprüngliche Datensatz, bildet die zwölfte (radiale) Ordnung in diesem speziellen Beispiel eine Obergrenze für die Anzahl der zu verwendenden Basiskomponenten.

[0034] In einer weiteren bevorzugten Ausführungs-

form wird der Satz von Basiskoeffizienten in eine Speichereinrichtung ausgegeben. Die ermittelten Basiskoeffizienten können beispielsweise an einer Schnittstelle bereitgestellt und auf ein Speichermedium geschrieben werden. Dies ermöglicht eine Charakterisierung des Verhüttungsprozesses im Hinblick auf eine zeitliche Entwicklung. Ebenso ist es möglich, unter Zuhilfenahme eines gespeicherten Satzes von Basiskoeffizienten die zugehörige räumliche Verteilung der Parameterwerte zu rekonstruieren.

[0035] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird der Verhüttungsprozess auf Grundlage von wenigstens zwei zu verschiedenen Zeitpunkten ausgegebenen Sätzen von Basiskoeffizienten überwacht. Beispielsweise kann geprüft werden, ob sich zumindest einer der Basiskoeffizienten im Laufe der Zeit ändert. Gegebenenfalls kann die Stärke der Änderung ermittelt und der Überwachung zugrunde gelegt werden. Die Stützung auf die zeitliche Entwicklung von Basiskoeffizienten erlaubt eine im Vergleich zur Verwendung der ursprünglichen Datensätze besonders ressourcenschonende, insbesondere speicherplatzschonende, Überwachung des Verhüttungsprozesses.

[0036] Beispielsweise kann geprüft werden, ob eine zeitliche Entwicklung des Satzes von Basiskoeffizienten, gegebenenfalls von wenigstens einem ausgewählten Basiskoeffizienten, von einer vorgegebenen zeitlichen Entwicklung abweicht. Gegebenenfalls kann geprüft werden, ob die Abweichung einen vorgegebenen Schwellenwert erreicht oder überschreitet. In Abhängigkeit eines Ergebnisses der Prüfung lassen sich dann zum Beispiel Maßnahmen zur Steuerung des Verhüttungsprozesses einleiten.

[0037] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird der Verhüttungsprozess auf Grundlage des ausgegebenen Satzes von Basiskoeffizienten beeinflusst. Beispielsweise kann der Verhüttungsprozess, gegebenenfalls auch ein Subprozess, durch das Einleiten entsprechender Maßnahmen gebremst oder beschleunigt oder anderweitig gesteuert, im Extremfall sogar gestoppt werden. Da ein ausgegebener Satz von Basiskoeffizienten mit genau einem Prozessparameter korrespondiert, kann der Verhüttungsprozess auch besonders kleinteilig beeinflusst werden. Folglich lässt sich so nicht nur der Betrieb des Hochofens optimieren, in dem der Verhüttungsprozess abläuft, sondern auch die Betriebssicherheit verbessern.

[0038] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird auf Grundlage der Basiskoeffizienten und der Orthonormalbasis die räumliche Verteilung der Parameterwerte rekonstruiert. Zu diesem Zweck lassen sich die Basiskomponenten der Orthonormalbasis mit jeweils einem, vorzugsweise gespeicherten, Basiskoeffizienten multiplizieren und addieren. Lag der ursprüngliche Datensatz beispielsweise in Form eines Bilds vor, kann dieses Bild so in guter Qualität rekonstruiert werden.

[0039] Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Charakterisierung eines Verhüttungsprozesses. Die

Vorrichtung weist wenigstens eine Sensoreinrichtung auf, die zum orts aufgelösten Erfassen eines Prozessparameters des Verhüttungsprozesses und zum Erzeugen eines entsprechenden Datensatzes eingerichtet ist.

[0040] Erfindungsgemäß ist zudem eine Datenverarbeitungseinrichtung vorgesehen, die dazu eingerichtet ist, auf Grundlage des Datensatzes eine Orthonormaldarstellung einer räumlichen Verteilung von Parameterwerten in einer Orthonormalbasis zu ermitteln und einen Satz von Basiskoeffizienten der ermittelten Orthonormaldarstellung auszugeben. Mithilfe einer solchen Vorrichtung können nicht nur umfangreiche Datenströme mit vergleichsweise geringem Datenverarbeitungsaufwand kontinuierlich überwacht, sondern auch neue Phänomene bzw. damit zusammenhängende, unerwünschte Betriebszustände erkannt werden. Eine Anlage zur Verhüttung von Metallerzen, zum Beispiel eine Eisen- oder Stahlhütte, kann mithilfe einer solchen Vorrichtung daher besonders zuverlässig und sicher geführt werden.

[0041] Um den Verhüttungsprozess, gegebenenfalls auch einen Subprozess, zu charakterisieren, kann die Sensoreinrichtung beispielsweise einen Sensor aufweisen, der zur Erfassung des Prozessparameters innerhalb eines räumlichen Bereichs eingerichtet ist. Beispielsweise kann die Sensoreinrichtung einen Radarsensor aufweisen, der zum Erfassen des Höhenprofils der Schüttung in einem Hochofenschacht eingerichtet ist.

[0042] Alternativ kann die Sensoreinrichtung ein Sensornetz räumlich verteilter Sensoren aufweisen, wobei jeder der Sensoren zur lokalen Erfassung des Prozessparameters eingerichtet ist. Beispielsweise kann die Sensoreinrichtung in und/oder um den Hochofenschacht verteilt angeordnete Temperatursensoren aufweisen, die jeweils zur Erfassung einer lokalen Temperatur eingerichtet sind.

[0043] Die Datenverarbeitungseinrichtung weist vorzugsweise eine Recheneinheit, beispielsweise einen Prozessor, und eine Speichereinheit, zum Beispiel einen Arbeitsspeicher, auf. Die Datenverarbeitungseinrichtung ist vorzugsweise dazu eingerichtet, mathematische Operationen an dem Datensatz durchzuführen, um die Basiskoeffizienten aus der Orthonormaldarstellung zu errechnen. Die Datenverarbeitungseinrichtung kann entsprechend dazu eingerichtet sein, das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung auszuführen, beispielsweise indem ein in die Speichereinheit geladenes Computerprogramm zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mithilfe der Recheneinheit ausgeführt wird.

[0044] Die erfindungsgemäße Anlage zur Verhüttung von Metallerzen weist einen Hochofen und eine erfindungsgemäße Vorrichtung auf. Die wenigstens eine Sensoreinrichtung der Vorrichtung ist dabei im Bereich des Hochofens angeordnet. Beispielsweise kann die Sensoreinrichtung, insbesondere wenigstens ein Sensor der Sensoreinrichtung, in und/oder am Hochofen angeordnet und dazu eingerichtet sein, für im Hochofen ab-

laufende Subprozesse des Verhüttungsprozesses wie zum Beispiel die Reduktion von Bestandteilen des Möllers oder das Aufschmelzen von Metallerzen charakteristische Prozessparameter zu erfassen. Dadurch können insbesondere prozesskritische Prozessparameter unmittelbar und besonders zuverlässig erfasst werden.

[0045] Die bisher gegebene Beschreibung vorteilhafter Ausgestaltungen der Erfindung enthält zahlreiche Merkmale, die in den einzelnen Unteransprüchen teilweise zu mehreren zusammengefasst wiedergegeben sind. Diese Merkmale können jedoch zweckmäßigerweise auch einzeln betrachtet und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammengefasst werden. Insbesondere sind diese Merkmale jeweils einzeln und in beliebiger geeigneter Kombination mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung sowie der erfindungsgemäßen Anlage kombinierbar. So sind Verfahrensmerkmale auch als Eigenschaft der entsprechenden Vorrichtungseinheit gegenständlich formuliert zu sehen und umgekehrt.

[0046] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Die Ausführungsbeispiele dienen der Erläuterung der Erfindung und beschränken die Erfindung nicht auf die darin angegebene Kombination von Merkmalen, auch nicht in Bezug auf funktionale Merkmale. Außerdem können dazu geeignete Merkmale eines jeden Ausführungsbeispiels auch explizit isoliert betrachtet, aus einem Ausführungsbeispiel entfernt, in ein anderes Ausführungsbeispiel zu dessen Ergänzung eingebracht und mit einem beliebigen der Ansprüche kombiniert werden.

[0047] Es zeigen:

FIG 1 ein Beispiel einer Anlage zur Verhüttung eines Metallerzes;

FIG 2 ein Beispiel eines Datensatzes, welcher eine räumliche Verteilung von Parameterwerten eines Prozessparameters eines Verhüttungsprozesses charakterisiert;

FIG 3 ein Beispiel eines Verfahrens zur Charakterisierung eines Verhüttungsprozesses; und

FIG 4 ein Beispiel eines Satzes von Basiskoeffizienten.

[0048] FIG 1 zeigt ein Beispiel einer Anlage 1 zur Verhüttung eines Metallerzes 2. Die Anlage 1 weist einen Hochofen 3 auf, der mit dem Metallerz 2, einem Reduktionsmittel, etwa Koks, und gegebenenfalls Zuschlagstoffen beschickbar ist. In einem Schacht 4 des Hochofens bilden das Metallerz 2, das Reduktionsmittel und gegebenenfalls die Zuschlagstoffe einen auch als Schüttung

5 bezeichneten Möller.

[0049] Die Anlage 1 weist zudem eine Vorrichtung 10 zur Charakterisierung eines Verhüttungsprozesses auf, welche Sensoreinrichtungen 11, 11' und eine Datenverarbeitungseinrichtung 12 umfasst. Die Sensoreinrichtungen 11, 11' sind im Bereich des Hochofens 3 angeordnet und jeweils dazu eingerichtet, einen Prozessparameter des Verhüttungsprozesses orts aufgelöst zu erfassen und einen entsprechenden Datensatz zu erzeugen. Die Datenverarbeitungseinrichtung 12 ist dazu eingerichtet, auf Grundlage dieser Datensätze jeweils eine Orthonormaldarstellung einer räumlichen Verteilung von Parameterwerten der erfassten Prozessparameter in einer Orthonormalbasis zu ermitteln und einen Satz von Basis-
koeffizienten der ermittelten Orthonormaldarstellung auszugeben.

[0050] Im vorliegenden Beispiel weist die Sensoreinrichtung 11 einen Radarsensor 13 auf, der am oberen Ende des Schachtes 4 angeordnet und dazu eingerichtet ist, ein Höhenprofil der Schüttung 5 zu erfassen. D. h., dass die Sensoreinrichtung 11 an mehreren Punkten im Raum innerhalb des Schachtes 4 Messwerte für die Höhe der Schüttung ermitteln und in Form eines Datensatzes, zum Beispiel als Bild, ausgeben kann. Dabei kann der Datensatz als Funktion angesehen werden, deren Funktionswert - die Füllhöhe - von den Koordinaten innerhalb eines Querschnitts durch den Schacht 4 abhängt. In einem (zweidimensionalen) Bild kann der Funktion in der Intensität einzelner Bildwerte (Pixel) codiert sein.

[0051] Die weitere Sensoreinrichtung 11' weist im vorliegenden Beispiel ein Sensornetz aus Temperatursensoren 14 auf, von denen aus Gründen der Übersichtlichkeit nur zwei mit einem Bezugszeichen versehen sind. Die Temperatursensoren 14 sind entlang der Wandung des Hochofens 3 angeordnet und dazu eingerichtet, eine lokale Temperatur zu erfassen. Die Sensoreinrichtung 11' kann die Temperaturen in Form eines weiteren Datensatzes ausgeben. Auch dieser weitere Datensatz kann als Funktion angesehen werden, deren Funktionswert - in diesem Fall die Temperatur - von den Koordinaten auf der Mantelfläche des Schachtes 4 abhängt.

[0052] Die Datenverarbeitungseinrichtung 12 weist vorzugsweise eine Recheneinheit (nicht dargestellt) auf, mit denen die Datensätze der Sensoreinrichtungen 11, 11' ausgewertet werden können. Ein in eine Speichereinheit (nicht dargestellt) der Datenverarbeitungseinrichtung 12 geladenes Computerprogramm kann die Recheneinheit beispielsweise dazu veranlassen, die Datensätze in eine Linearkombination aus Basis-
komponenten einer Orthonormalbasis zu zerlegen. Die sich dabei ergebenden Anteile, die die Basis-
komponenten am Datensatz, d. h. an der räumlichen Verteilung der jeweiligen Parameterwerte, haben, können von der Datenverarbeitungseinrichtung 12 zum Beispiel über eine Schnittstelle 15 in Form von Basis-
koeffizienten ausgegeben werden. Die Basis-
koeffizienten können als Gewichtung der Basis-
komponenten aufgefasst werden.

[0053] Die Schnittstelle 15 kann zum Beispiel als Monitor ausgebildet sein, an dem ein Benutzer die Basis-
koeffizienten ablesen und dadurch Rückschlüsse auf den Verhüttungsprozess im Hochofen 3 ziehen kann. Gegebenenfalls kann der Benutzer auf Grundlage der ausgegebenen Basis-
koeffizienten auch Maßnahmen einleiten, um den Verhüttungsprozess in eine andere, gewünschte Richtung zu lenken.

[0054] Im vorliegenden Beispiel umfasst die Vorrichtung 10 auch eine Speichereinrichtung 16. Die Datenverarbeitungseinrichtung 12 ist vorzugsweise dazu eingerichtet, die ermittelten Basis-
koeffizienten nicht nur über die Schnittstelle 15 an einen Benutzer, sondern auch an die Speichereinrichtung 16 auszugeben. Die ermittelten Basis-
koeffizienten können so in der Speichereinrichtung 16 gespeichert und beispielsweise mit zu einem späteren Zeitpunkt ermittelten Basis-
koeffizienten verglichen werden. Dadurch lassen sich Rückschlüsse über den zeitlichen Verlauf des Verhüttungsprozesses ziehen.

[0055] Ebenso ist es denkbar, dass die Datenverarbeitungseinrichtung 12 die ermittelten Basis-
koeffizienten an eine Steuerungseinrichtung (nicht gezeigt) zur Steuerung des Verhüttungsprozesses im Hochofen 3 ausgibt. Die Steuerungseinrichtung kann beispielsweise dazu eingerichtet sein, die Beschickung des Hochofens 3 mit dem Metallerz 2, dem Reduktionsmittel und gegebenenfalls den Zuschlagstoffen auf Grundlage der an sie ausgegebenen Basis-
koeffizienten zu beeinflussen. Die Steuerungseinrichtung kann insbesondere dazu eingerichtet sein, die räumliche Verteilung des Metallerzes 2, des Reduktionsmittels und gegebenenfalls den Zuschlagstoffen auf Grundlage der Basis-
koeffizienten zu beeinflussen. Die Steuerungseinrichtung ist dabei bevorzugt dazu eingerichtet, zum Beispiel eine Schurre entsprechend anzusteuern. Alternativ oder zusätzlich kann die Steuerungseinrichtung auch dazu eingerichtet sein, auf Grundlage der ermittelten Basis-
koeffizienten eine Luftzufuhr in den Schacht 4 zu regulieren, eine Kühlung der Wandung des Schachtes 4 anzupassen und/oder dergleichen. Dadurch lässt sich der Verhüttungsprozess zuverlässig automatisieren.

[0056] FIG 2 zeigt ein Beispiel eines Datensatzes 20, welcher eine räumliche Verteilung 21 von Parameterwerten 22 eines Prozessparameters eines Verhüttungsprozesses charakterisiert. Der Prozessparameter im vorliegenden Beispiel ist die Füllhöhe oder auch Höhe Z einer Schüttung bzw. Möllersäule in einem Schacht eines Hochofens (siehe FIG 1), die über den Querschnitt des Schachtes, d. h. in der X-Y Ebene, variiert. D. h., dass die Schüttungshöhe Z in Abhängigkeit der X- und Y-Koordinate unterschiedliche Parameterwerte 22 annimmt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist in FIG 2 nur einer der Parameterwerte 22 mit einem Bezugszeichen versehen.

[0057] Der in FIG 2 gezeigte Datensatz 20 kann zum Beispiel mithilfe einer 2D-Radarmessung erzeugt werden. Aufgrund der endlichen (räumlichen) Auflösung ei-

nes entsprechenden Radarsensors kann dabei keine kontinuierliche Verteilung ermittelt werden. Vielmehr wird durch die Auflösung des Radarsensors ein Gitter definiert, auf dem die gemessenen Parameterwerte 22 vorliegen.

[0058] Wird der Datensatz 20 mit anderen Sensoren erzeugt, zum Beispiel mit einem Sensornetz aus mehreren Sensoren, die den Prozessparameter lokal erfassen, kann das Gitter auch über die Anordnung der mehreren Sensoren definiert sein. Daher können die Parameterwerte 22 grundsätzlich auch auf einem unregelmäßigen Gitter vorliegen.

[0059] FIG 3 zeigt ein Beispiel eines Verfahrens 100 zur Charakterisierung eines Verhüttungsprozesses.

[0060] In einem Verfahrensschritt S1 wird ein Datensatz bereitgestellt, der eine räumliche Verteilung von mehreren Parameterwerten eines Prozessparameters des Verhüttungsprozesses charakterisiert.

[0061] Ein solcher Datensatz kann beispielsweise von einer Sensoreinrichtung bereitgestellt werden, die zur orts aufgelösten Erfassung des Prozessparameters eingerichtet ist. Der Datensatz kann insbesondere in Form von Sensordaten der Sensoreinrichtung bereitgestellt werden.

[0062] Alternativ ist es aber auch möglich, dass ein solcher Datensatz aus einem Speicher geladen wird, zum Beispiel wenn ein Verhüttungsprozess zu einem späteren Zeitpunkt analysiert wird.

[0063] In einem weiteren Verfahrensschritt S2a kann der Datensatz an eine Geometrie einer Orthonormalbasis angepasst werden, zum Beispiel durch eine Koordinatentransformation. Wenn die Basiskomponenten der Orthonormalbasis beispielsweise Funktionen von Radius und (Polar-)Winkel sind, wird der Datensatz vorzugsweise in ein Polarkoordinatensystem transformiert. Sind die Basiskomponenten dagegen Funktionen von Radius, Polarwinkel und Azimutwinkel, wird der Datensatz vorzugsweise in ein Kugelkoordinatensystem transformiert.

[0064] Alternativ zur Anpassung des Datensatzes an die Geometrie der Orthonormalbasis kann in einem Verfahrensschritt S2b auch eine Orthonormalbasis ausgewählt werden, die an eine Geometrie des Datensatzes angepasst ist. Lässt sich die räumliche Verteilung der Parameterwerte beispielsweise gut mithilfe von Polarkoordinaten ausdrücken, wird vorzugsweise eine Orthonormalbasis gewählt, deren Basiskomponenten Funktionen von Radius und (Polar-)Winkel sind. Lässt sich die räumliche Verteilung dagegen gut mithilfe von Kugelkoordinaten ausdrücken, wird vorzugsweise eine Orthonormalbasis gewählt, deren Basiskomponenten Funktionen von Radius, Polarwinkel und Azimutwinkel sind.

[0065] In einem weiteren Verfahrensschritt S3 wird auf Grundlage des, gegebenenfalls koordinatentransformierten, Datensatzes eine Orthonormaldarstellung in der Orthonormalbasis ermittelt. Beispielsweise kann der Datensatz in eine Linearkombination aus Basiskomponenten der Orthonormalbasis zerlegt werden.

[0066] Sind die Parameterwerte f zum Beispiel eine

Funktion der (Polar-) Koordinaten Radius r und Polarwinkel θ , kann der Datensatz als Linearkombination aus Basiskomponenten, die durch die sogenannten Zernike-

5 Polynome $Z_n^m(r, \theta)$ gegeben sind, dargestellt werden:

$$10 \quad f(r, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n a_{nm} Z_n^m(r, \theta).$$

n gibt dabei die sogenannte "radiale Ordnung" und m die sogenannte "axiale Ordnung" an. Die Zernike-Polynome bilden rein formal zunächst eine unendliche Reihe.

[0067] Die Zernike-Koeffizienten a_{nm} können als Basiskoeffizienten aufgefasst werden und bilden eine Ge-

20 wichtung der Zernike-Polynome $Z_n^m(r, \theta)$. Anders gesagt stellen die Basiskoeffizienten eine Stärke des Anteils der jeweiligen Basiskomponente an der Verteilung $f(r, \theta)$ der Parameterwerte dar.

25 **[0068]** Die Wahl der Zernike-Polynome $Z_n^m(r, \theta)$ ist vorliegend rein beispielhaft zu verstehen. Es ist denkbar, andere Orthonormalbasen zu wählen, wie zum Beispiel Bessel-Funktionen oder Chebyshev-Polynome.

30 **[0069]** Die Basiskoeffizienten können durch direkte Integration ermittelt werden:

$$35 \quad a_{nm} = \int_{r=0}^R \int_{\theta=0}^{2\pi} f(r, \theta) Z_n^m(r, \theta) r dr d\theta,$$

wobei R der Radius der Fläche ist, innerhalb der die Parameterwerte verteilt sind.

40 **[0070]** Rechentechnisch kann es jedoch einfacher sein, die Basiskoeffizienten bzw. Zernike-Koeffizienten a_{nm} mithilfe eines überbestimmten Gleichungssystems zu ermitteln. Dieses kann erhalten werden, indem die Entwicklung der durch die Zernike-Polynome gebildeten Reihe nach N Termen abgebrochen wird:

$$45 \quad f(r_i, \theta_i) = \sum_{j=1}^N a_j Z_j(r_i, \theta_i),$$

wobei die Zernike-Polynome $Z_j(r_i, \theta_i)$ nur an Gitterpunkten i eines definierten Gitters berechnet werden (siehe FIG 2).

55 **[0071]** In Vektor-/Matrixschreibweise ergibt sich $\mathbf{f} = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{a}$ mit $\mathbf{f} = (f_1, f_2, \dots, f_M)^T$ und

$$\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} Z_{1,1} & \dots & Z_{N,1} \\ \dots & \dots & \dots \\ Z_{M,1} & \dots & Z_{M,N} \end{pmatrix}$$

mit Zeilenanzahl M (entspricht der Anzahl der Messpunkte), Spaltenzahl N und $M > N$ sowie $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_N)^T$, wobei Z_j das j -te Zernike-Polynom bzw. die j -te Basis-komponente und a_j der j -te Zernike-Koeffizient bzw. der j -te Basiskoeffizient ist.

[0072] Dieses überbestimmte Gleichungssystem kann vorteilhaft durch die Methode der geringsten Fehlerquadrate gelöst werden, wobei Residuen minimiert werden:

$$\min_a \|\mathbf{Z} \cdot \mathbf{a} - \mathbf{f}\|.$$

Grundsätzlich sind jedoch auch andere, verallgemeinerte Methoden der kleinsten Quadrate denkbar. Es sind insbesondere auch andere als die hier beispielhaft beschriebene euklidische Norm zur Minimierung denkbar, zum Beispiel die sogenannte Summennorm (1-Norm).

[0073] Die Basiskoeffizienten bzw. Zernike-Koeffizienten erhält man dann über

$$\mathbf{a} = (\mathbf{Z}^T \mathbf{Z})^{-1} \mathbf{Z}^T \cdot \mathbf{f}.$$

Alternativ kann man die Basis- bzw. Zernike-Koeffizienten auch über eine sogenannte QR-Zerlegung der Matrix $\mathbf{Z}$ erhalten. Die QR-Zerlegung kann den Vorteil höherer numerischer Stabilität liefern, weil dadurch keine Verschlechterung der Konditionierung des behandelten Problems auftritt.

[0074] In einem weiteren Verfahrensschritt S4 wird ein Satz von Basiskoeffizienten, vorzugsweise alle zuvor in Verfahrensschritt S3 bestimmten Basiskoeffizienten, ausgegeben. Zum Beispiel können die Basiskoeffizienten an eine Steuerungseinrichtung ausgegeben werden. In einem weiteren Verfahrensschritt S5 kann der Verhüttungsprozess dann auf Grundlage der ausgegebenen Basiskoeffizienten gesteuert werden.

[0075] Es ist auch denkbar, dass alternativ oder zusätzlich zu Verfahrensschritt S5 auf Grundlage des zum Beispiel in Verfahrensschritt S4 in einer Speichereinrichtung gespeicherten Satzes von Basiskoeffizienten in einem weiteren Verfahrensschritt S6 die (ursprüngliche) räumliche Verteilung der Parameterwerte bzw. der (ursprüngliche) Datensatz rekonstruiert wird. Dazu können die Basiskoeffizienten mit der jeweiligen Basis-komponente, d. h. zum Beispiel mit dem jeweiligen Zernike-Polynom, multipliziert werden.

[0076] FIG 4 zeigt ein Beispiel eines Satzes von Basiskoeffizienten a_j . Die gezeigten Basiskoeffizienten a_j resultieren aus einer 2D-Radarmessung des Höhenprofils einer Schüttung bzw. Möllersäule im Schacht eines Hochofens (siehe FIG 1). Im vorliegenden Beispiel liefert die Radarmessung 1705 Messwerte bzw. Parameter-

werte, deren räumliche Verteilung (siehe FIG 2) in Zernike-Polynome bis zur radialen Ordnung $n = 8$ entwickelt wurde. Die sich daraus ergebenden 45 Zernike-Koeffizienten bzw. Basiskoeffizienten a_j mit $j = 1, \dots, 45$ sind in Form eines Balkendiagramms gezeigt, wobei die Abszisse den Wert der Koeffizienten anzeigt. Die gezeigte Verteilung ist charakteristisch für das gemessene Höhenprofil der Schüttung und damit für den Verhüttungsprozess.

[0077] Obwohl die Erfindung voranstehend im Detail durch die Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0078]

1	Anlage
2	Metallerz
3	Hochofen
4	Schacht
5	Schüttung
10	Vorrichtung
11, 11'	Sensoreinrichtung
12	Datenverarbeitungseinrichtung
13	Radarsensor
14	Temperatursensor
15	Schnittstelle
16	Speichereinrichtung
20	Datensatz
21	räumliche Verteilung
22	Parameterwert
100	Verfahren
S1-S6	Verfahrensschritte
Z	Schüttungshöhe
X, Y	Koordinate
a_j	Basiskoeffizient

Patentansprüche

- Verfahren (100) zur Charakterisierung eines Verhüttungsprozesses, wobei ein Datensatz (20) bereitgestellt (S1) wird, der eine räumliche Verteilung (21) von mehreren Parameterwerten (22) eines Prozessparameters des Verhüttungsprozesses charakterisiert,
dadurch gekennzeichnet, dass
auf Grundlage des Datensatzes (20) eine Orthonormaldarstellung der räumlichen Verteilung (21) der

mehreren Parameterwerte (22) in einer Orthonormalbasis ermittelt (S3) und ein Satz von Basiskoeffizienten (a_j) der ermittelten Orthonormaldarstellung ausgegeben (S4) wird.

2. Verfahren (100) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Datensatz (20) vor der Ermittlung der Orthonormaldarstellung an eine der Orthonormalbasis zugrundeliegende Geometrie angepasst (S2a) wird. 5
3. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
vor der Ermittlung der Orthonormaldarstellung eine Orthonormalbasis ausgewählt (S2b) wird, welche an eine dem Datensatz (20) zugrundeliegenden Geometrie angepasst ist. 10
4. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
vor der Ermittlung der Orthonormaldarstellung eine Orthonormalbasis auf Grundlage des Gram-Schmidtschen Orthonormalisierungsverfahrens erzeugt wird. 15
5. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der wenigstens eine Prozessparameter eine Höhe (Z) einer Schüttung (5) in einem Hochofen (3), eine Temperatur eines Gichtgases oder einer Wandung des Hochofens (3), ein Druck in der Schüttung (5), eine Strahlungsintensität von im Hochofen (3) erzeugter elektromagnetischer Strahlung, eine elektromotorische Kraft an der Außenseite der Wandung des Hochofens (3), und/oder eine chemische Komposition der Schüttung (5) ist. 20
6. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Orthonormaldarstellung auf einem durch eine zur Erfassung des Prozessparameters eingerichtete Sensoreinrichtung (11, 11') definierten Gitter ermittelt wird. 25
7. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
zum Ermitteln der Orthonormaldarstellung ein überbestimmtes lineares Gleichungssystem aufgestellt und der Satz von Basiskoeffizienten (a_j) auf der Grundlage einer Lösung des Gleichungssystems mittels der Methode der geringsten Fehlerquadrate ermittelt wird. 30
8. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, 35

dadurch gekennzeichnet, dass

die Anzahl der durch den Datensatz (20) charakterisierten Parameterwerte wenigstens um einen Faktor 5 größer ist als eine Anzahl von Basiskomponenten der Orthonormalbasis, auf denen die Orthonormaldarstellung basiert.

9. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Satz von Basiskoeffizienten (a_j) in eine Speichereinrichtung (16) ausgegeben wird. 40
10. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Verhüttungsprozess auf Grundlage von wenigstens zwei zu verschiedenen Zeitpunkten ausgegebenen Sätzen von Basiskoeffizienten (a_j) überwacht wird. 45
11. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Verhüttungsprozess auf Grundlage des ausgegebenen Satzes von Basiskoeffizienten (a_j) beeinflusst wird. 50
12. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
auf Grundlage der Basiskoeffizienten (a_j) und der Orthonormalbasis die räumliche Verteilung (21) der Parameterwerte (22) rekonstruiert wird. 55
13. Vorrichtung (10) zur Charakterisierung eines Verhüttungsprozesses mit wenigstens einer Sensoreinrichtung (11, 11'), die zum orts aufgelösten Erfassen eines Prozessparameters des Verhüttungsprozesses und zum Erzeugen eines entsprechenden Datensatzes (20) eingerichtet ist,
gekennzeichnet durch
eine Datenverarbeitungseinrichtung (12), die dazu eingerichtet ist, auf Grundlage des Datensatzes (20) eine Orthonormaldarstellung einer räumlichen Verteilung (21) von Parameterwerten (22) in einer Orthonormalbasis zu ermitteln und einen Satz von Basiskoeffizienten (a_j) der ermittelten Orthonormaldarstellung auszugeben.
14. Anlage (1) zur Verhüttung von Metallerzen (2) mit einem Hochofen (3) und einer Vorrichtung (10) zur Charakterisierung eines Verhüttungsprozesses nach Anspruch 13, wobei die wenigstens eine Sensoreinrichtung (11, 11') der Vorrichtung (10) im Bereich des Hochofens (3) angeordnet ist.

FIG 1

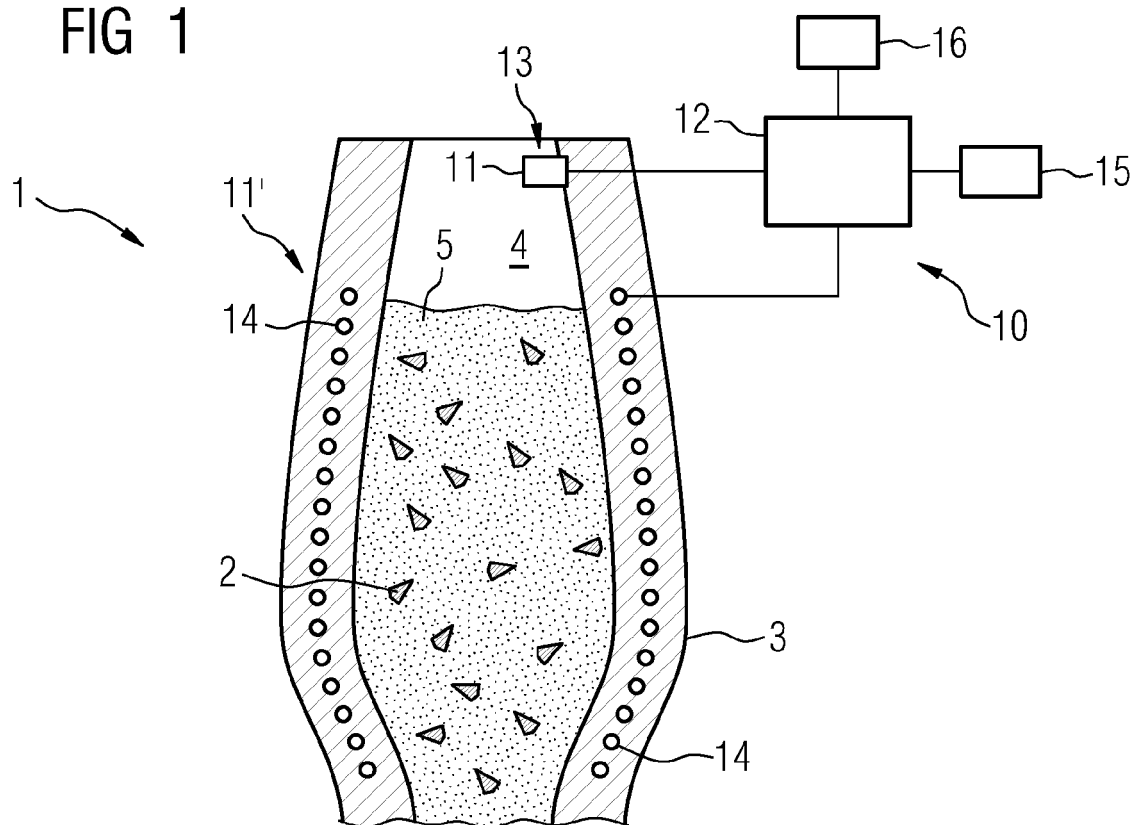


FIG 2

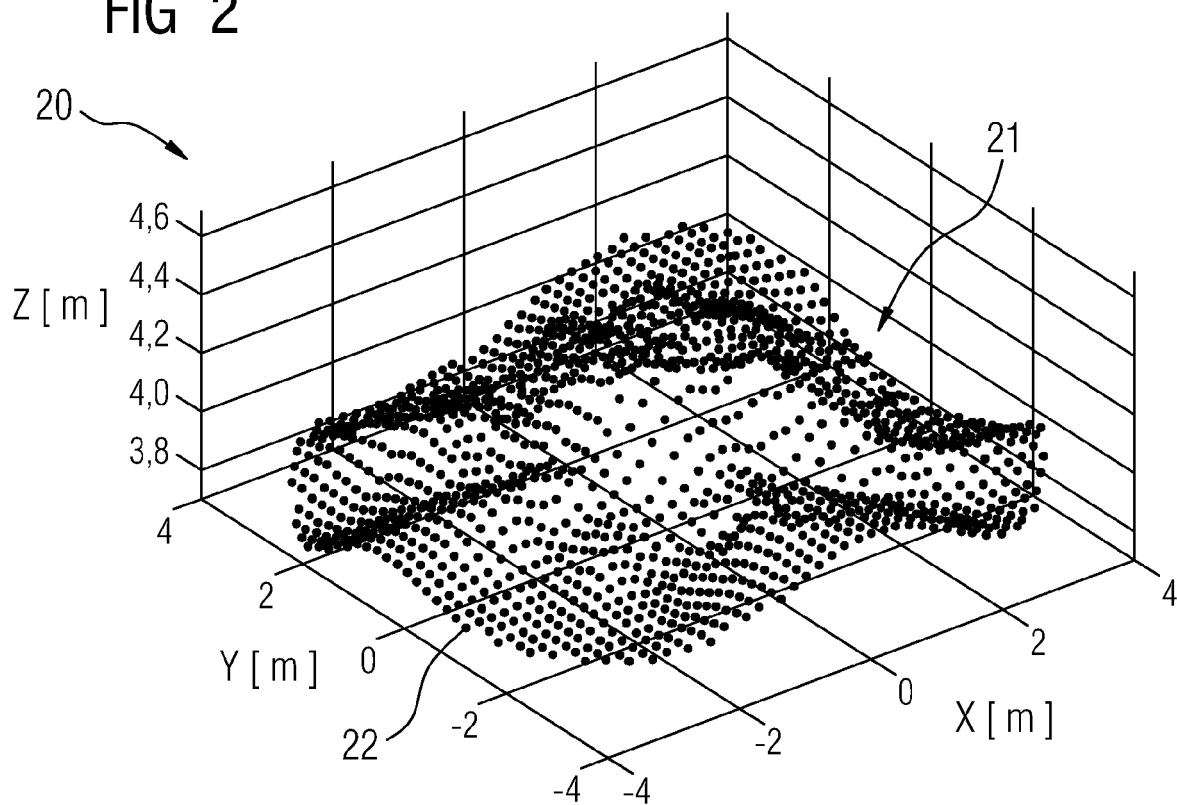


FIG 3

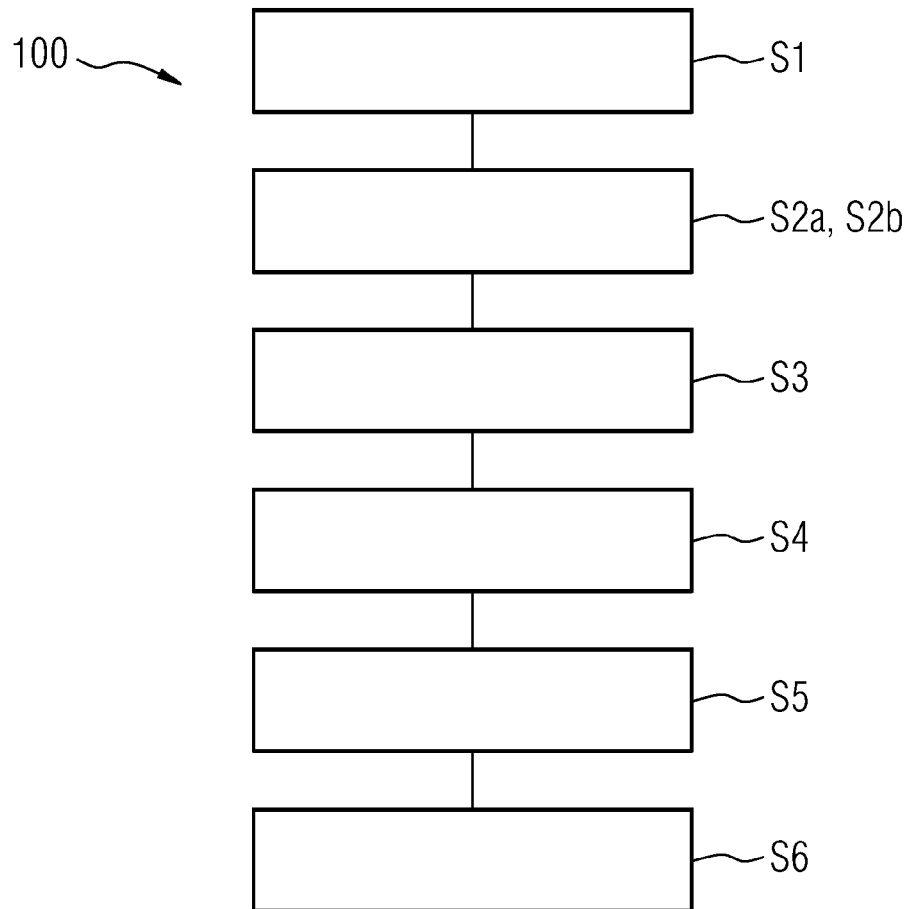
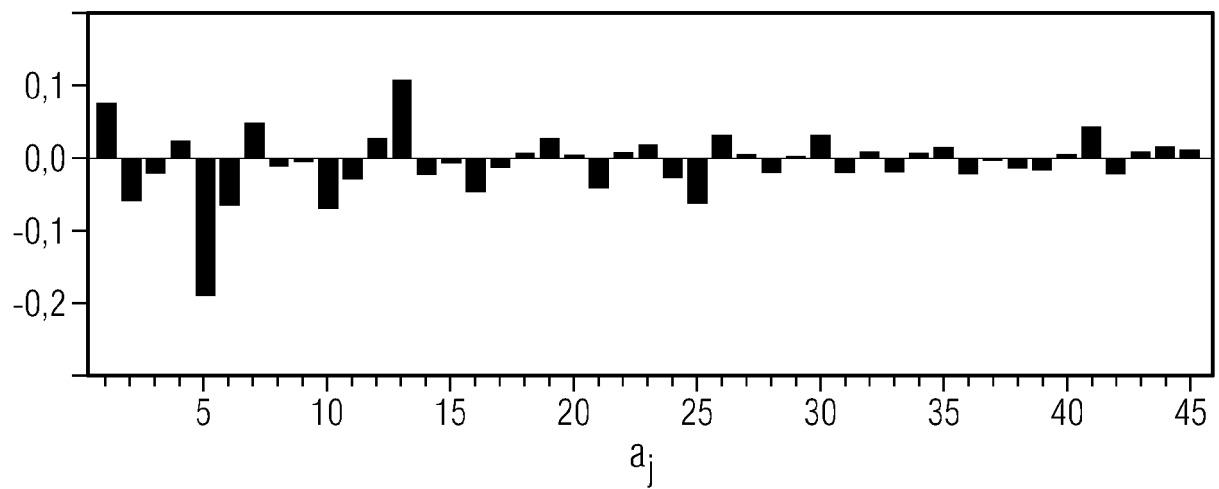


FIG 4





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 20 20 8398

5

10

15

20

25

30

35

40

45

1

50

55

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	ZHOU PING ET AL: "Data modeling for quality prediction using improved orthogonal incremental random vector functional-link networks", NEUROCOMPUTING, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, Bd. 365, 20. Juli 2019 (2019-07-20), Seiten 1-9, XP085805098, ISSN: 0925-2312, DOI: 10.1016/J.NEUCOM.2019.06.062 [gefunden am 2019-07-20] * Abbildung 2 * * Seiten 4-8, 11 *	1-14	INV. C21B5/00 C21B7/00 C21B7/10 C21B7/24 F27B1/26 F27B1/28 F27D19/00 F27D21/00
X	JP 2018 165399 A (JFE STEEL CORP) 25. Oktober 2018 (2018-10-25) * Abbildungen 1, 9 * * Ansprüche 1, 8 * * Absätze [0030] - [0044], [0049], [0050] *	1-14	
X	US 2016/148365 A1 (TSUDA KAZURO [JP] ET AL) 26. Mai 2016 (2016-05-26) * Abbildungen 2, 9, 10 * * Ansprüche 5, 13-16 *	1-8, 10-14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C21B F27B F27D
X	EP 3 730 630 A1 (POSCO [KR]) 28. Oktober 2020 (2020-10-28) * Abbildungen 3, 5 * * Ansprüche 2-8 * * Absatz [0007] *	1-8, 10-14	
X	JP H06 17107 A (NIPPON STEEL CORP) 25. Januar 1994 (1994-01-25) * Abbildungen 2-4, 12 * * Ansprüche 1-3 * * Absätze [0033], [0034], [0054] - [0063] *	1-14	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 6. Mai 2021	Prüfer Porté, Olivier
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 20 8398

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

06-05-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2018165399 A	25-10-2018	JP 6617767 B2 JP 2018165399 A	11-12-2019 25-10-2018
US 2016148365 A1	26-05-2016	CN 105392904 A EP 3029160 A1 KR 20160020574 A TW 201518511 A US 2016148365 A1 WO 2015015936 A1	09-03-2016 08-06-2016 23-02-2016 16-05-2015 26-05-2016 05-02-2015
EP 3730630 A1	28-10-2020	CN 111492070 A EP 3730630 A1 JP 2021507115 A KR 20190074132 A WO 2019124931 A1	04-08-2020 28-10-2020 22-02-2021 27-06-2019 27-06-2019
JP H0617107 A	25-01-1994	JP 2578293 B2 JP H0617107 A	05-02-1997 25-01-1994

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82