



(11) **EP 1 948 833 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
21.09.2011 Patentblatt 2011/38

(51) Int Cl.:
C21B 5/00 (2006.01) **C21B 11/02** (2006.01)
F27B 1/16 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06840931.7**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2006/010752

(22) Anmeldetag: **09.11.2006**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2007/054308 (18.05.2007 Gazette 2007/20)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES SCHACHTOFENS**

METHOD FOR THE OPERATION OF A SHAFT FURNACE

PROCEDE D'UTILISATION D'UN FOUR A CUVE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR

- **GUNDENAU, Heinrich-Wilhelm**
52074 Aachen (DE)
- **BABICH, Alexander**
52066 Aachen (DE)

(30) Priorität: **09.11.2005 DE 102005053505**

(74) Vertreter: **Michalski Hüttermann & Partner**
Patentanwälte
Neuer Zollhof 2
40221 Düsseldorf (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.07.2008 Patentblatt 2008/31

(73) Patentinhaber: **Thyssenkrupp AT.Protec GmbH**
45143 Essen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 992 754 EP-A- 1 035 392
WO-A-01/36891 LU-A1- 69 212
US-A- 4 031 183

(72) Erfinder:

- **KÖNIG, Gerd**
46535 Dinslaken (DE)
- **KÖNIG, Wolfram**
49477 Ibbenbüren (DE)
- **HELDT, Hans-Heinrich**
41747 Viersen (DE)
- **SENK, Dieter Georg**
52066 Aachen (DE)

- **PIPATMANOMAI S ET AL: "Investigation of coal conversion under conditions simulating the raceway of a blast furnace using a pulsed air injection, wire-mesh reactor" ENERGY FUELS; ENERGY AND FUELS MARCH/APRIL 2003, Bd. 17, Nr. 2, März 2003 (2003-03), Seiten 489-497, XP002442344**

EP 1 948 833 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Schachtofens, bei dem ein oberer Bereich des Schachtofens mit Rohmaterialien beschickt wird, die unter Einfluss der Schwerkraft im Ofen absinken, wobei ein Teil der Rohmaterialien unter Einwirkung der innerhalb des Schachtofens herrschenden Atmosphäre geschmolzen und/oder reduziert wird, und in einem unteren Bereich des Schachtofens ein Behandlungsgas eingeleitet wird, das die innerhalb des Schachtofens herrschende Atmosphäre zumindest teilweise beeinflusst.

[0002] Ein solches Verfahren, bzw. der Schachtofen ist grundsätzlich bekannt. Allein für die Produktion von Primärschmelze von Eisen wird er überwiegend als Hauptaggregat eingesetzt, wobei andere Verfahren lediglich einen entsprechenden Anteil von nur etwa 5 % haben. Der Schachtofen kann nach dem Gegenstromprinzip arbeiten. Rohmaterialien wie Möller und Koks werden an dem oberen Bereich des Schachtofens der Gicht chargiert und sinken im Schachtofen nach unten. In einem unteren Bereich des Ofens (Blasformebene) wird ein Behandlungsgas (so genannter Wind mit je nach Größe des Ofens 800 - 10 000 m³/tRE) durch Blasformen in den Ofen eingeblasen. Dabei reagiert der Wind, bei dem es sich üblicherweise um vorab in Winderhitzern auf etwa 1000 bis 1300°C erhitzte Luft handelt, mit dem Koks, wobei u. a. Kohlenmonoxid erzeugt wird. Das Kohlenmonoxid steigt im Ofen auf und reduziert die im Möller enthaltenen Eisenerze.

[0003] Darüber hinaus werden üblicherweise noch Ersatzreduktionsmittel mit beispielsweise 100-170 kg/tRE (z. B. Kohlenstaub, Öl oder Erdgas) mit in den Ofen eingeblasen, was die Erzeugung von Kohlenmonoxid fördert.

[0004] Zusätzlich zur Reduktion der Eisenerze schmelzen die Rohmaterialien aufgrund der bei den im Schachtofen auftretenden chemischen Prozesse erzeugten Wärme. Die Temperaturverteilung über den Querschnitt des Schachtofens ist allerdings ungleichmäßig. So bildet sich im Zentrum des Schachtofens der so genannte "tote Mann" aus, während sich die relevanten Prozesse wie die Vergasung (Reaktion von Sauerstoff mit Koks oder Ersatzreduktionsmitteln zu Kohlenmonoxid und Kohlendioxid) im wesentlichen lediglich in der so genannten Wirbelzone abspielt, die ein Bereich vor einer Blasform ist, also bezüglich des Querschnitts des Ofens nur in einem Randbereich gelegen ist. Die Wirbelzone besitzt eine Tiefe zur Ofenmitte von etwa 1 m und ein Volumen von etwa 1,5 m³. Üblicherweise sind in der Blasformebene mehrere Blasformen umfänglich derart angeordnet, dass sich die vor jeder Blasform gebildete Wirbelzone mit den links und rechts gebildeten Wirbelzonen überlappt, so dass der aktive Bereich im wesentlichen durch einen kreisringförmigen Bereich gegeben ist. Es bildet sich beim Betrieb des Schachtofens das so genannte "birdsnest" aus.

[0005] Weiter kann der Heißwind üblicherweise mit

Sauerstoff angereichert werden, um die eben beschriebenen Prozesse (Vergasung in der Wirbelzone, Reduktion der Eisenerze) zu intensivieren, was zu einer Erhöhung der Leistung des Schachtofens führt. Dabei kann beispielsweise der Heißwind vor dem Einleiten mit Sauerstoff angereichert werden, oder auch reiner Sauerstoff getrennt zugeführt werden, wobei zur getrennten Zuführung eine so genannte Lanze vorgesehen werden kann, d.h. ein Rohr welches sich z.B. innerhalb der Blasform, welche ja ebenfalls ein rohrartiges Teil ist, erstreckt und innerhalb eines Mündungsbereichs der Blasform in den Ofen mündet. Insbesondere bei modernen Hochöfen, die mit niedrigem Kokssatz betrieben werden, wird der Heißwind entsprechend hochgradig mit Sauerstoff angereicht. Auf der anderen Seite werden durch die Zugabe von Sauerstoff die Produktionskosten erhöht, so dass die Effizienz eines modernen Schachtofens nicht einfach durch eine entsprechend immer weiter erhöhte Sauerstoffkonzentration erhöhbar ist.

[0006] Es ist weiter bekannt, dass die Effizienz, also der Wirkungsgrad eines modernen Schachtofens mit der so genannten Durchgasung im Schachtofen korreliert ist. Damit ist im allgemeinen gemeint, wie gut die Vergasung in der Wirbelzone die Reduktion der Eisenerze und generell der Durchzug der im Schachtofen herrschenden Gasphase von der Blasformebene nach oben zur Gicht funktioniert, wo dann das so genannte Gichtgas abgeleitet wird. Ein Anzeichen für eine bessere Durchgasung ist etwa ein möglichst geringer Druckverlust im Ofen.

[0007] Es hat sich allerdings herausgestellt, dass trotz Sauerstoffanreicherung des Heißwindes die Durchgasung in modernen Hochöfen noch nicht vollkommen zufriedenstellend ist. Daher ist es die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Betreiben eines Schachtofens anzugeben, das eine bessere Durchgasung im Ofen gewährleistet.

[0008] Aus WO 01/36891 A3 ist ein Verfahren zum Betreiben eines Schachtofens bekannt. Bei diesem Verfahren werden Einsatzstoffe, Brennstoffe, ein erstes und ein zweites Oxidationsmittel in die Schmelzzone eingedüst. Das Eindüsen des zweiten Oxidationsmittels erfolgt durch sich wiederholende zeitliche Abfolge einer Fließphase und einer Ruhephase. Als Beispiele werden Fließphasen und Ruhephasen können jeweils 10 s dauern.

[0009] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

[0010] In verfahrensmäßiger Hinsicht wird diese Aufgabe durch ein Verfahren der eingangs erläuterten Art gelöst, bei dem die Einleitung des Behandlungsgases moduliert wird. Die Modulation des Behandlungsgases erfolgt dabei derart, dass die Betriebsgrößen Druck p und/oder Volumenstrom V innerhalb einer Periodendauer von kleiner gleich 5 s und besonders bevorzugt kleiner gleich 1 s variiert wird. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass eine deutlich bessere Durchgasung und damit eine Erhöhung der Leistung und Effizienz erreicht wird, wenn

das Behandlungsgas nicht zeitlich gleichmäßig in den Ofen eingeleitet wird, sondern in kurzen Zeitabständen variiert wird.

[0011] Selbstverständlich variiert die Einleitung des Behandlungsgases auch bei herkömmlichen Verfahren immer dann, wenn der Ofen angefahren oder abgeschaltet wird, wenn für eine neue Ladung Rohmaterialien unterschiedliche Betriebsparameter eingestellt werden, oder wenn lediglich zur Leistungserhöhung die Sauerstoffkonzentration des Heißwindes auf einen höheren Wert umgestellt wird. Diese zeitliche Änderungen sind aber lediglich einmalige Änderungen, die auf einer Zeitskala von mehreren Stunden stattfinden. Die erfindungsgemäße dynamische Modulation der Einleitung des Behandlungsgases findet dagegen auf Zeitskalen von unter einer Minute statt, was damit zusammenhängt, dass die mittlere Verweilzeit des Gases im Schachtofen lediglich 5 bis 10 s beträgt. Im Vergleich zu der erfindungsgemäßen dynamischen Modulation weisen zeitliche Änderungen der Betriebsparameter in einem Abstand von über einer Minute eine vergleichsweise geringe Zeitspanne auf, in der die Betriebsparameter nicht statisch sind. Das heißt die Zeitspanne zwischen zwei Änderungen der Betriebsparameter, in denen die Betriebsparameter im Wesentlichen konstant, das heißt statisch, sind, ist größer als die Zeitspanne die zur Erreichung des im Wesentlichen stationären Zustands benötigt wird. Mit Ausnahme der relativ kurzen Umstellungszeit sind derartige Änderungen im Wesentlichen statisch und werden daher als "quasi statische Modulation" bezeichnet. Bei der erfindungsgemäßen dynamischen Modulation ist die Zeitspanne mit instationären Zuständen im Schachtofen größer als die Zeitspanne mit im Wesentlichen stationären Zuständen. Durch die dynamische Modulation werden Totströmungszonen in der Wirbelzone gestört, was die Gesamtturbulenz in der Wirbelzone erhöht; dies hat eine verbesserte Durchgasung in der Wirbelzone zur Folge, was wiederum zu einer verbesserten Durchgasung im Schacht führt.

[0012] Besonders vorteilhaft erfolgt die Modulation quasi-periodisch, insbesondere periodisch, wobei die Periodendauer 5 s oder weniger beträgt. Dabei ist eine periodische Modulation durch eine zeitveränderliche Funktion $f(t)$ mit $f(t+T) = f(t)$ charakterisiert, wodurch gleichzeitig die Periodendauer T definiert ist. Unter einer quasi-Modulation wird hier einerseits verstanden, dass eine Grundmodulation periodischer Natur ist, also beispielsweise eine Funktion $h(t) = g(t) \cdot f(t)$ mit periodischem $f(t)$ und einer Mantelfunktion $g(t)$, welche im Vergleich zu $f(t)$ einen nur geringen qualitativen Einfluß auf die Struktur von $h(t)$ hat. Andererseits wäre unter eine quasi-periodischen Modulation auch eine solche zu verstehen, bei der $g(t)$ eine stetige, aber zufallsabhängige Funktion ist, die gewisserweise die Struktur der stetigen Funktion $f(t)$ ungleichmäßig verzerrt, wobei allerdings die zugrundeliegende periodische Struktur noch erkennbar bleibt. Durch eine derartig periodische Modulation kann durch Ansprechen eines ebenfalls periodischen Prozes-

ses, der in der Wirbelzone stattfindet angesprochen werden, was zu einer weiteren Verbesserung der Durchgasung führt.

[0013] Es ist zweckmäßig, wenn die Periodendauer T 60 ms oder mehr, bevorzugt 100 ms oder mehr, insbesondere 0,5 s oder mehr beträgt. Obwohl die Verweilzeit des Behandlungsgases in der Wirbelzone äußerst gering ist, kann mit Periodendauern in diesen Bereichen eine zufriedenstellende Durchgasung erreicht werden, wobei die Erzeugung von Modulationen mit noch geringerer Periodendauer einen erhöhten technischen Aufwand mit sich bringen würde.

[0014] Für die Periodendauer T gilt somit insbesondere $5 \text{ s} \geq T \geq 0,5 \text{ s}$. Insbesondere ist T derart gewählt, dass die Behandlungsgase im Schachtofen eine turbulente Strömung ausbilden und laminare Bereiche im Wesentlichen vermeiden.

[0015] In einer einfachen Verfahrensgestaltung ist vorgesehen, dass die Modulation harmonisch erfolgt. Dies kann durch eine einfache sinusförmige Modulation $f(t) = f_0 + \Delta f \sin(2\pi t/T)$ in einfacher Weise erreicht werden.

[0016] In einer besonders vorteilhaften Verfahrensgestaltung erfolgt die Modulation pulsationsartig. Eine solche Modulation ist etwa durch eine Funktion $f(t) = f_0 + \sum_i \delta(t-t_i)$ charakterisiert, wobei $\delta(t)$ allgemein einen Puls beschreibt, d. h. wiederkehrenden Pulsspitzen gegenüber einem im wesentlichen konstanten Hintergrund. Die Pulse selbst können Rechteckpulse, Dreieckspulse, gaussartige Pulse (aufgebreiteter mathematischer δ -Puls) sein oder ähnliche Pulsformen besitzen, wobei die genaue Pulsform weniger charakterisierend wirkt wie die Pulsbreite σ , bei der es sich um die Pulsbreite bei halber Pulshöhe handelt (FWHM). Eine sinnvolle Abstimmung der Pulsbreite ergibt sich, wenn σ 5 s oder weniger, bevorzugt 2 s oder weniger, insbesondere 1 s oder weniger beträgt. Andererseits ist es zweckmäßig, wenn die Pulsbreite σ 1 ms oder mehr, bevorzugt 10 ms oder mehr, insbesondere 0,1 s oder mehr beträgt. Sehr kleine Pulsbreiten sind schwieriger herzustellen, andererseits gelingt mit ihnen eine Einflußnahme auf Prozesse, die in der Wirbelzone mit entsprechend geringen Reaktionszeiten ablaufen.

[0017] In einer vorteilhaften Verfahrensgestaltung weisen periodische Pulsationen ein Verhältnis Pulsbreite zu Periodendauer $\sigma:T$ von 0,5 oder kleiner, bevorzugt 0,2 oder kleiner, insbesondere 0,1 oder kleiner auf. Für die Pulsbreite σ gilt somit insbesondere $5 \text{ s} > \sigma \geq 1 \text{ ms}$, vorzugsweise $0,7 \text{ s} \geq \sigma \geq 25 \text{ ms}$, besonders bevorzugt $0,1 \text{ s} \geq \sigma \geq 30 \text{ ms}$ und weiter bevorzugt $55 \text{ ms} \geq \sigma \geq 35 \text{ ms}$.

[0018] Es ist zweckmäßig, wenn das Verhältnis $\sigma:T$ 10^{-4} oder größer, bevorzugt 10^{-3} oder größer, insbesondere 10^{-2} oder größer ist. So kann ein Kombinationseffekt erreicht werden, in dem periodisch in den Wirbelzonen ablaufende Prozesse, die an bestimmte Reaktionszeiten gekoppelt sind, angesprochen werden.

[0019] In einer möglichen Verfahrensgestaltung beträgt die Amplitude der Modulation bezüglich eines Grundwertes 5 % oder mehr, bevorzugt 10 % oder mehr,

insbesondere 20 % oder mehr. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass bereits geringe Amplitudenunterschiede eine zufriedenstellende Durchgasung ermöglichen. Darüber hinaus ist es vorteilhaft, wenn die Amplitude der Modulation bezüglich des Grundwertes 100 % oder weniger, bevorzugt 80 % oder weniger, insbesondere 50 % oder weniger beträgt. Insbesondere harmonische Modulationen unterhalb diesen Grenzen können verfahrensmäßig einfach realisiert werden.

[0020] Es kann bei pulsationsartiger Modulation vorteilhaft sein, wenn die Pulshöhe eines Pulses den im wesentlichen unmodulierten Wert zwischen zwei Pulsen um einen Faktor 2 oder mehr, bevorzugt 5 oder mehr, insbesondere 10 oder mehr übersteigt. So kann die Schockwirkung der Modulation erhöht werden, und die Störung der Totströmungszonen in der Wirbelzone verstärkt werden, was schließlich zu einer besseren Durchgasung im Ofen führt. Andererseits ist es aus verfahrenstechnischen Gründen sinnvoll, wenn der Faktor 200 oder kleiner, bevorzugt 100 oder kleiner, insbesondere 50 oder kleiner ist.

[0021] Grundsätzlich kann eine Modulation der Einleitung des Behandlungsgases auf vielfältige Art und Weise erfolgen. Zweckmäßig wird jedoch die Modulation über ein Einstellen mindestens einer insbesondere die Einleitung des Behandlungsgases steuernden Betriebsgröße erfolgen. So kann eine Modulation des Druckes des Heißwinds die Vergasung in der Wirbelzone beschleunigen und so die Durchgasung im Schacht verbessern. Es können beispielsweise bei der Druckmodulation Druckspitzen von 300 bar auftreten. Besonders vorteilhaft weist das einzuleitende Behandlungsgas unterscheidbare Anteile auf. Darunter ist allerdings nicht nur die selbstverständliche Aufteilung eines Gases in seine Komponenten (z. B. Stickstoff, Sauerstoff, ...) zu verstehen, sondern auch verschiedene Gasphasen, deren Unterscheidbarkeit daher rührt, dass sie zumindest in einem Stadium des Einleitens voneinander getrennt eingeleitet werden. Beispielsweise ist hier die getrennte Sauerstoffzuführung durch Lanzen, Ventile oder Membrane zu nennen.

[0022] Weiter werden die bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erreichten Wirkungen signifikant verstärkt, wenn zusammen mit dem Behandlungsgas und/oder zusätzlich zu dem Behandlungsgas Ersatzreduktionsmittel in den Schachtofen eingeleitet werden. Wie bereits oben erwähnt, kann es sich bei dem Ersatzreduktionsmittel um insbesondere aus Anthrazitkohle hergestellten Kohlenstaub, andere metallurgische Stäube sowie feinkörnige Materialien, Öl, Fette, Teere mit Erdgas oder andere Kohlenwasserstoffträger handeln, die aufgrund des Sauerstoffs zu CO₂ und CO umgesetzt werden und insbesondere als Nano-Partikel vorliegen. Aufgrund der erfindungsgemäßen Modulation kann nämlich ein höherer Grad an Umsetzung der eingeblasenen Ersatzreduktionsmittel erreicht werden. Dies gilt insbesondere bei pulsationsartiger Modulation, da durch die Pulse die Umsetzung intensiviert wird. Darüber hinaus wird durch die

angesprochene Erhöhung der Gesamtturbulenz in der Wirbelzone die sehr kurze Verweilzeit der Ersatzreduktionsmittel in der Wirbelzone von nur etwa 0,03 s bis 0,05 s verlängert, wodurch ebenfalls die Reduktionsmittelumsetzung gesteigert werden kann. Des weiteren führt eine bessere Umsetzung der Ersatzreduktionsmittel zu einem geringeren Anteil unverbrannter Partikel, was die Durchgasung im "birdsnest"-Bereich fördert und damit eine zusätzliche Steigerung der Einblasrate erlaubt.

[0023] In weiteren vorteilhaften Verfahrensgestaltungen werden Druck und/oder Volumenstrom mindestens eines der unterscheidbaren Anteile des Behandlungsgases und/oder Druck und/oder Massenstrom des einzuleitenden Ersatzreduktionsmittels dynamisch moduliert. Eine bessere Durchgasung im Schacht wird also auch erreicht, wenn z. B. dem Behandlungsgas ein zusätzlicher Sauerstoffanteil pulsationsartig zugeführt wird. Anderweitig oder in Kombination kann auch der Druck, mit dem Ersatzreduktionsmittel eingeblasen werden, oder deren Massenstrom dynamisch moduliert werden. Dabei ist bei gleichbleibender Dichte der Ersatzreduktionsmittel natürlich der Massenstrom mit dem Volumenstrom identisch, andererseits könnte aber auch bei gleichbleibendem Volumenstrom die mittlere Dichte der Ersatzreduktionsmittel dynamisch moduliert werden. Es kann auch zumindest zeitweise ganz oder teilweise Inertgas eingeblasen werden, beispielsweise um unerwünschte Temperaturspitzen herauszuregulieren oder die Zuführungsleitungen beziehungsweise in den Zuführungsleitungen angeordnete Ventile zu kühlen.

[0024] Besonders vorteilhaft handelt es sich bei der Betriebsgröße um die absolute Menge einer der unterscheidbaren Anteile des einzuleitenden Behandlungsgases, und/oder um den relativen Mengenanteil einer der unterscheidbaren Anteile bezüglich eines weiteren Anteils oder des gesamten Behandlungsgases. So kann z.B. besonders einfach die absolute Sauerstoffmenge bzw. die relative Sauerstoffkonzentration dynamisch moduliert werden, obwohl die Hauptlast, nämlich der Heißwind selbst nicht moduliert werden muss. Dies ist insbesondere dann einfach zu realisieren, wenn reiner Sauerstoff oder eine Gasphase mit gegenüber Luft erhöhter Sauerstoffkonzentration zumindest während eines Teils der Einleitung getrennt zugeführt wird. Geschieht dies pulsationsartig, kann die Umsetzung der Ersatzreduktionsmittel weiter intensiviert werden, mit den weiter verstärkten bereits genannten Wirkungen. Dabei kann beispielsweise die Amplitude des Extra-Sauerstoffvolumenstroms bezüglich der des Hintergrundwindes im Bereich 0,25 - 20 %, bevorzugt 0,5 - 10 %, insbesondere 1 - 6 % liegen.

[0025] Dies ist auch gleichzeitig ein Beispiel für die vorteilhafte Verfahrensgestaltung, bei der zwei oder mehr (unterschiedliche) Betriebsgrößen moduliert werden. Grundsätzlich sind dabei kombinierte Modulationen von z. B. Heißwinddruck, Sauerstoffanteil, Druck von Extrasauerstoff, Druck oder Konzentration der Ersatzreduktionsmittel usw. denkbar, wobei man zwischen dem zu-

sätzlichen Aufwand für eine weitere Modulation und der gewonnenen Zusatzwirkung abzuwägen hat.

[0026] In einer besonders bevorzugten Verfahrensgestaltung wird das Behandlungsgas auf mindestens zwei unterschiedlichen Wegen in den Schachtofen eingeleitet und eine erste Betriebsgröße für die Steuerung des entlang des ersten Weges einzuleitenden Anteils wird wie eine zweite Betriebsgröße zur Steuerung des entlang des zweiten Weges eingeleiteten Anteils des Behandlungsgases dynamisch moduliert, wobei es sich bei der ersten und zweiten Betriebsgröße auch um die gleiche Betriebsgröße handeln kann, bei deren Modulation es sich allerdings auch um verschiedene Modulationen handeln kann. Grundsätzlich ist darunter zu verstehen, dass bezüglich jeder Blasform dieselbe oder auch eine unterschiedliche Betriebsgröße dynamisch moduliert werden kann, die Modulation der Behandlungsgasanteile, die durch die jeweiligen Blasformen eingeleitet werden, also unabhängig erfolgen kann. Dabei kann es vorteilhaft auch vorgesehen sein, jeweils eine Gruppe von Anteilen, die durch benachbarte Wege eingeleitet werden, zusammenzufassen, so dass in diesem Sinne unabhängige Einleitungsbereiche entstehen, die wiederum gleichartig moduliert werden können. Durch letzteres kann beispielsweise sektorenweise Einfluss auf den Ofengang genommen werden, wobei dennoch eine gleichmäßige Verteilung des Behandlungsgases (Heißwindes) auf die Blasformen ermöglicht wird. Eine weitere vorteilhafte Verfahrensgestaltung sieht vor, dass die erste und die zweite Betriebsgröße periodisch mit gleicher Periodendauer T moduliert werden, wobei deren relative Phase um einen Wert verschoben ist. Bei der Phase handelt es sich damit um eine auf die Periodendauer T bezogene Zeitverschiebung. Beträgt die relative Zeitverschiebung beispielsweise $T/2$, so sind die beiden Betriebsgrößen relativ zueinander antizyklisch moduliert. Angesichts wenn auch geringen Verbrennungszeit in den Wirbelzonen kann es beispielsweise vorteilhaft sein, dass Sauerstoffpulsationen gegenüber entsprechenden pulsationsartigen Erhöhungen der Ersatzreduktionsmittelmengen leicht retardiert sind, also beispielsweise um $0 \leq \varphi \leq \pi/2$ verschoben sind.

[0027] In einer besonders bevorzugten Verfahrensgestaltung wird die inverse Periodendauer T^{-1} auf eine Autofrequenz eines Teilsystems der Atmosphäre innerhalb des Schachtofens eingestellt. Dabei ist unter einem Teilsystem der Atmosphäre zunächst einerseits ein räumliches Teilsystem zu verstehen, das hier durch die Wirbelzonen gegeben ist, andererseits kann es sich auf einen physikalisch/chemischen Teil der Atmosphäre beziehen, also beispielsweise die Druckverteilung, Wärmeverteilung, Dichteverteilung, Temperaturverteilung oder Zusammensetzung. Bei der Autofrequenz kann es sich um die Frequenz einer linearen Anregung in radialer Richtung (von den Blasformen zur Ofenmitte hin), oder Wirbelanregungen in der Wirbelzone einer einzelnen Blasform handeln, aber auch um eine wirbelzonenübergreifende Wirbelanregung in umfänglicher Richtung des

Schachtofens, wobei der im räumlichen Zentrum dieser Anregung stehende "tote Mann" für eine solche Wirbel-schwingung topologisch ein Loch darstellt. Durch das Anregen des Teilsystems in einer seiner Autofrequenzen kann eine Resonanzdurchgasung in der Wirbelzone/den Wirbelzonen erreicht werden, die zu einer verbesserten Gesamtdurchgasung im Schacht führt und damit den Wirkungsgrad des Schachtofens erhöht. Besonders bevorzugt erfolgt die Modulation beispielsweise hinsichtlich Impulsdauer, Impulsfrequenz oder Impulsstärke derart, dass sich im Schachtofen eine stehende Welle ergibt. Zusätzlich beziehungsweise alternativ erfolgt die Modulation derart, dass die Rohstoffe im Schachtofen gleichmäßig insbesondere in Form einer Pfropfenströmung absinken. Hierzu kann die Modulation in Abhängigkeit von gemessenen Prozessgrößen geregelt sein.

[0028] Ein weiterer Vorteil des angegebenen Verfahrens liegt in einer Beeinflussung der Wirbelzonengeometrie, so dass der Bereich, in dem die Hauptkohleumsetzung stattfindet, vergrößert wird. Es kann also ohne zusätzlichen energetischen oder materiellen Aufwand die Leistung des Schachtofens erhöht werden, also ein verbesserter Wirkungsgrad erreicht werden.

[0029] Ein weiterer Gesichtspunkt der Erfindung betrifft ein Verfahren der eingangs erläuterten Art, bei dem in einer ersten Betriebsphase mindestens eine der Betriebsgrößen unter Einstellung eines Parameters dynamisch moduliert wird, die Auswirkung der Modulation der mindestens einen Betriebsgröße auf mindestens eine Kenngröße des Schachtofens registriert wird, anschließend der Parameter nach einem vorgegebenen System variiert wird und der variierte Parameter für die Modulation neu eingestellt wird, wobei nach jeder Variation und Neueinstellung deren Auswirkung auf die Kenngröße registriert wird, dann unter den den variierten Parametern entsprechenden registrierten Werten der Kenngröße nach vorgegebenen Auswahlkriterien ein Kenngrößenwert mit dem dazugehörigen Parameterwert ausgewählt wird, und in einer zweiten Betriebsphase die mindestens eine Betriebsgröße mit dem ausgewählten Parameterwert dynamisch moduliert wird. Bei diesem Verfahren wird vorteilhaft zunächst festgestellt, wie die dynamische Modulation zweckmäßig durchzuführen ist, indem ein Parameter, der beispielsweise die Periodendauer für eine periodische Modulation sein kann, variiert wird und durch die Variation anhand einer Kenngröße, die beispielsweise der Wirkungsgrad des Schachtofens sein kann, ein optimaler Parameterwert (z. B. eine optimale Periodendauer) ausgewählt wird, anhand dessen die dynamische (z. B. periodische) Modulation erfolgt.

[0030] Vorteilhaft lässt sich dieses Optimierungsverfahren für weitere Parameter durchführen, so dass sich insgesamt eine optimale Schar von Parametern ergeben kann, anhand der die dynamische Modulation erfolgt.

[0031] Das erfindungsgemäße Verfahren kann mit einem Schachtofen durchgeführt werden, der insbesondere wie vorstehend anhand des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutert aus- und weitergebildet ist.

[0032] Vorteilhaft weist bei einem solchen Schachtofen die Einrichtung zum Einleiten des Behandlungsgases ein erstes und ein zweites rohrartiges Teil auf, wobei zusätzlich zu einem Hauptleitungsweg, über den ein Anteil des Behandlungsgases eingeleitet wird, über das erste rohrartige Teil ein Oxidationsmittel und über das zweite rohrartige Teil ein Ersatzreduktionsmittel einblasbar ist. Auf diese Weise kann technisch einfach sowohl ein Oxidationsmittel wie z. B. Sauerstoff oder sauerstoffangereicherte Luft wie auch Ersatzreduktionsmittel getrennt in den Schachtofen eingeleitet werden, was eine unabhängige und bautechnisch einfach zu realisierende dynamische Modulation der Einleitungen zulässt. Erfindungsgemäß ist hierzu eine Steuereinrichtung derart eingestellt, dass innerhalb einer Zeitspanne von kleiner gleich 40 s die Betriebsgrößen Druck p und/oder Volumenstrom V variiert werden.

[0033] Dabei hat es sich als besonders zweckmäßig herausgestellt, wenn das erste und zweite rohrartige Teil zumindest teilweise zu einer Doppelrohrlanze verbunden sind, wobei die rohrartigen Teile konzentrisch oder exzentrisch aneinander angeordnet sein können. So können die funktionellen Anforderungen an die rohrartigen Teile mit einer platzsparenden Anordnung verbunden werden.

[0034] Es kann aber auch vorgesehen werden, dass es sich bei dem ersten und dem zweiten rohrartigen Teil um räumlich getrennte Lanzen handelt, wobei mindestens ein Austrittswinkel einer der rohrartigen Teile gegenüber einer horizontalen und/oder vertikalen Ebene des Schachtofens einstellbar ist, insbesondere die Austrittswinkel beider rohrartiger Teile unabhängig voneinander einstellbar sind. So kann die Einblasrichtung von etwa Zusatzsauerstoff oder den Reduktionsmitteln bezüglich der Wirbelzonengeometrie variiert werden. Insbesondere kann auch daran gedacht werden, den Austrittswinkel entsprechend den obigen Erläuterungen ebenfalls dynamisch zu modulieren, wenn der Schachtofen betrieben wird.

[0035] In den Zuleitungen zu dem Schachtofen sind insbesondere keramische Ventile, insbesondere Scheibenventile oder Kolbenmagnetventile vorgesehen, so dass die Ventile hochtemperaturbeständig und temperaturfest sind. Die Ventile weisen daher eine besonders geringe Wärmedehnung auf und können daher auch bei den im Betrieb auftretenden besonders hohen Temperaturen ohne Schwierigkeiten betrieben werden.

[0036] Vorzugsweise ist die Einrichtung zum Einleiten des Behandlungsgases mit mindestens zwei Speicherbehältern verbunden, wobei die Speicherbehälter insbesondere schwellend belastet werden. Die Speicherbehälter weisen insbesondere ein unterschiedliches Volumen und/oder einen unterschiedlichen Druck auf, so dass je nach Bedarf zur Erreichung einer bestimmten Modulation ein bestimmter Speicherbehälter angeschlossen werden kann. Es können auch mehrere gleichartige Speicherbehälter angeschlossen sein, damit beim Entleeren des jeweiligen Speicherbehälters der Druck

im Speicherbehälter nur unwesentlich abfällt und ausreichend Zeit zur Verfügung steht den Speicherbehälter auf seinen Ursprungszustand wieder aufzufüllen während der andere Speicherbehälter angeschlossen ist.

[0037] Insbesondere weist die Einrichtung zum Einleiten des Behandlungsgases einen ersten Satz Ventile und einen zweiten redundanten Satz Ventile auf. Dies ermöglicht es, die einzelnen Sätze alternierend zu betreiben, so dass sich die Ventile abkühlen können. Die Abkühlung kann weiter verbessert werden, indem die für die Zuleitung des Behandlungsgases nicht benötigten Ventile mit Hilfe eines Gases, insbesondere Intertgases, gekühlt werden.

[0038] Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Betreiben eines Schachtofens angegeben, das insbesondere neben den bereits erläuterten Verfahrensmerkmalen dadurch gekennzeichnet ist, dass auf die im oberen Bereich des Schachtofens herrschende Atmosphäre ausgehend von dem oberen Bereich des Schachtofens in einer dynamisch modulierten Weise eingewirkt wird. Auf diese Weise kann die oben erläuterte Auswirkung von dynamischen Modulationen auf einen auf die Wirbelzonen beschränkten Bereich der Atmosphäre auf einen größeren Bereich ausgeweitet werden, indem nämlich z. B. das sich im oberen Bereich des Schachtofens befindliche Gichtgas dynamisch moduliert wird. Dazu kann beispielsweise zusätzliches Gas in den oberen Bereich des Schachtofens eingeleitet werden und/oder der Gichtgas-Druck durch geeignete Ansteuerung von in einer Gichtgas-Ableitung vorgesehenen Ventilen moduliert werden.

[0039] Insbesondere kann vorgesehen werden, eine auf der Blasformebene erfolgende dynamische Modulation und die im oberen Bereich (an der Gicht) erfolgende dynamische Modulation aufeinander abzustimmen. So können etwa weitere Resonanzanregungen eines Teilsystems der im Schachtofen herrschenden Atmosphäre angeregt werden, wodurch eine weiter verbesserte Durchgasung im Schachtofen erreicht werden kann. Dabei können die dynamischen Modulationen vorteilhaft bezüglich beispielsweise Periode und Amplitude derart aufeinander abgestimmt werden, dass eine direkte weitere Resonanzanregung möglich wird, oder die Anregung eines Teilsystems der im Schachtofen herrschenden Atmosphäre erst durch eine Koppelwirkung der äußeren Anregungen zustandekommt.

[0040] Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Erläuterung der beiliegenden Zeichnung, in der

Fig. 1 ein Zeit-Druck-Diagramm zeigt,

Fig. 2 ein weiteres Zeit-Druck-Diagramm zeigt,

Fig. 3 ein Zeit-Konzentrations-Diagramm zeigt,

Fig. 4 ein Zeit-Massestrom-Diagramm zeigt, und

Fig. 5 ein kombiniertes Zeit-Masse/Volumenstrom-Diagramm zeigt.

[0041] In Fig. 1 ist dargestellt, wie der Druck beispielsweise des in den Schachtofen einzuleitenden Behandlungsgases dynamisch moduliert werden kann. Man erkennt, dass der Druck $p(t)$ harmonisch um einen Basisdruck p_0 schwankt, mit einer Frequenz von $f = 1/T = 10$ Hz. Der Basisdruck p_0 beträgt in diesem Beispiel 2,4 bar. Die Druckamplitude $2\Delta p$ beträgt in diesem Beispiel 1,2 bar, also 50% des Basisdruckwerts p_0 . Der in Fig. 1 dargestellte Druckverlauf des Heißwindes ist also durch $P(t) = p_0 + \Delta p \cdot \sin(2\pi t/T)$ gegeben.

[0042] In Fig. 2 ist eine pulsationsartige Modulation des Drucks eines *Anteils des in den Schachtofen einzuleitenden Behandlungsgases dargestellt. Konkret kann es sich dabei um reinen Sauerstoff handeln, der zusätzlich zum Heißwind in den Schachtofen eingeleitet wird. Auch hier ist die Modulation periodisch, allerdings mit einer Periodendauer von $T = 4$ s. Die Pulshöhe $p_{\max}$ beträgt 50 bar, was gegenüber dem mit beispielsweise 2,5 bar Umgebungsdruck des eingeleiteten Heißwindes eine Pulsation mit Amplitudenfaktor 20 bedeutet. Die Pulse haben eine Pulsbreite σ von etwa 0,4 s, so dass ein Verhältnis von Pulsbreite zu Periodendauer von etwa 0,1 ergibt.

[0043] In Fig. 3 ist eine dynamische Modulation der Sauerstoffkonzentration des Behandlungsgases beispielhaft dargestellt. Diese kommt wie folgt zustande: Ein selbst nicht modulierter Heißwindanteil des Behandlungsgases liefert eine konstante Basiskonzentration n_0 , welcher der natürlichen Sauerstoffkonzentration in Luft entspricht (der Heißwind besteht hier aus heißer Luft). Zusätzlich zu dem Heißwind werden nun noch zwei weitere Anteile des Behandlungsgases eingeleitet. Ein erster Anteil, der entweder aus reinem Sauerstoff oder aus einer Sauerstoff enthaltenden Gasphase mit Sauerstoffkonzentration n'_1 besteht, wird pulsationsartig periodisch mit Periodendauer T_1 von 2 s eingeleitet. Die Menge des reinen Sauerstoffs bzw. die Konzentration n'_1 wird dabei so gewählt, dass die Sauerstoffkonzentration bezüglich des gesamten Behandlungsgases um eine Konzentrationsdifferenz n_1 erhöht wird. Hier beträgt das Verhältnis n_1/n_0 etwa 60%. Analog wird zusätzlich eine zweite Gasphase pulsationsartig eingeleitet, wobei die Pulsation ebenfalls periodisch mit der gleichen Periodendauer $T_2 = T_1$ erfolgt, allerdings phasenverschoben um eine Phase ϕ_1 . Dieser phasenverschobene pulsationsartig zugeführte zweite Gasanteil führt zu einer Erhöhung der Sauerstoffkonzentration bezüglich des gesamten Behandlungsgases von n_0 auf $n_0 + n_2$, wie aus Fig. 3 ersichtlich ist. Das Verhältnis n_2/n_0 beträgt etwa 40%, die zweite Gasphase führt also dem Behandlungsgas effektiv weniger Sauerstoff zu als die erste. Man kann gut in Fig. 3 erkennen, dass auch die gesamte Sauerstoffkonzentration $n(t)$ des Behandlungsgases periodisch ist, und zwar mit einer Periodendauer $T = T_1 = T_2$, da sie sich aus der Überlagerung zweier (dreier mit n_0) periodisch modulier-

ter Gasphasen ergibt. In dem in Fig. 3 gezeigten Beispiel beträgt die Phasenverschiebung ϕ_1 , etwa $\pi/2$. Es wäre allerdings auch denkbar, sie auf n einzustellen, wobei die beiden zusätzlichen Gasphasen dann antizyklisch wären. In diesem Fall wäre die Sauerstoffkonzentration $n(t)$ quasi-periodisch mit Periode $T/2$. Ohne Phasenverschiebung ($\phi_1 = 0$) erhielte man eine Sauerstoffkonzentration $n(t)$, welche ebensogut durch eine einzige zusätzlich eingeleitete Gasphase erreichbar wäre.

[0044] Fig. 4 zeigt die zeitliche Modulation der Injektionsrate von Ersatzreduktionsmitteln, die hier z.B. Kohlenstaub sein können, bzw. entsprechend deren Massenstrom m/dt . Auch hier ist einem kontinuierlichen Massenstrom m_0/dt ein pulsierender Zusatzanteil überlagert, der einmal alle $T = 20$ s eine Erhöhung um 30%, und antizyklisch alle $T = 20$ s eine Erhöhung um 50 % bewirkt. Der gesamte Massenstrom m/dt hat also Periode T , ist aber quasi periodisch mit $\tau = T/2$. Die Pulsbreite σ ist hier relativ groß und beträgt etwa $T/4$.

[0045] Fig. 5 zeigt die simultane zeitliche Modulation einerseits des Massenstroms m/dt eines Ersatzreduktionsmittels und andererseits eines Volumenstroms V/dt von Sauerstoff. Für den Massenstrom m/dt gilt ähnliches wie in der obigen Beschreibung zu Fig. 4, außer dass die Pulsform unterschiedlich ist, und die Periode T in Fig. 5 $T = 0,6$ s beträgt. Die zeitliche Modulation des Sauerstoffvolumenstroms V/dt , die ebenfalls periodisch mit T erfolgt, läßt sich beispielsweise erzeugen, indem ein Anteil V_0/dt durch den natürlichen Sauerstoffvolumenstrom der eingeleiteten Heißluft hervorgerufen wird, und periodisch durch zusätzlich zugeführte Sauerstoffpulse erhöht wird. Wie aus Fig. 5 zu erkennen ist, sind die zusätzlichen Sauerstoffpulse gegenüber der Pulsation des Massenstroms der Ersatzreduktionsmittel um eine Zeit $\Delta t = 0,02$ s verschoben, was einer Phasenverschiebung von $\phi_1 = \pi/15$ entspricht. Durch die so gewählte Phasenverschiebung hat die erhöhte Menge an Ersatzreduktionsmittel, die in die Wirbelzone eingeblasen wird, einerseits einen Vorsprung gegenüber dem folgenden Sauerstoffpuls, und steht so gewisserweise zur Umsetzung bereit, während andererseits der folgende Sauerstoffpuls die Umsetzung des Ersatzreduktionsmittels bewirken kann, bevor dieses die Wirbelzone verläßt. Folglich kann eine zuverlässig hohe Umsetzung des Ersatzreduktionsmittels bei gesteigerter Einblasrate erreicht werden, was zu einer besseren Durchgasung im Schachtofen führt.

[0046] Die anhand der Fig. 1 bis 5 erläuterten Beispiele einer dynamischen Modulation der Einleitung des Behandlungsgases sowie auch weiterer Komponenten stellen lediglich nur einen Teil der Möglichkeiten dar, die erfindungsgemäße dynamische Modulation zu verwirklichen. Die in der obigen Beschreibung sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können, wie bereits aus den unterschiedlichen Ausführungsbeispielen erkennbar, sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

[0047] Beispielsweise ist als Schachtofen ein Hochofen vorgesehen, der in seinem Inneren einen Druck von ca. 2 bis 4 bar aufweist. Das Behandlungsgas kann mit einem kontinuierlichen Druck von ca. 10 bar eingeblasen werden. Um eine pulsierende Modulation zu erreichen, kann über ein Ventil zeitweilig ein Speicherbehälter zugeschaltet werden, der einen Druck von beispielsweise 20 bar aufweist. Durch das Zuschalten des Speicherbehälters kann beispielsweise ein kurzzeitiger Puls mit einem um 1,5 bis 2,5 bar erhöhten Druck erzeugt werden, dass heißt der Druck des Behandlungsgases weist während des Pulses einen Druck von ca. 12 bar auf. Aufgrund dieses Pulses wird innerhalb des Hochofens durch das Behandlungsgas ein Energiestoß erzeugt, der Verkrustungen und Schlacken am Rade der Reaktionszone aufschmilzt und/oder die Schicht in den Verkrustungen und Schlacken perforiert. Da durch den Energiestoß Sauerstoff in die Schlackeschicht der Reaktionszone transportiert wird, finden Oxidationsreaktionen mit der Schlackeschicht statt. Die dadurch herausgelöste Schlacke ermöglicht eine bessere Durchströmung des gesamten Hochofens. Die Entstehung von Schlacke kann zumindest reduziert werden, wenn in dem Behandlungsgas möglichst kleine Kohlepartikel zugemischt werden, so dass sich bei der Reaktion in der Reaktionszone weniger unverbrannte Bestandteile ergeben, die sich ansonsten in der Schlacke festsetzen könnten. Die Effekte des moduliert eingeblasenen Behandlungsgases können verstärkt werden, indem mehrere Einblasungsstellen entlang des Umfangs und/oder entlang der Höhe des Hochofens vorgesehen werden.

[0048] Ein beispielsweise als Kupolofen ausgebildeter Schachtofen kann prinzipiell wie vorstehend anhand des Hochofens erläutert ausgebildet sein und betrieben werden. Üblicherweise wird ein Kupolofen bei einem geringeren Druck beispielsweise 300 mbar betrieben. In diesem Fall kann das Behandlungsgas kontinuierlich mit einem Druck von 5 bar eingeblasen werden, wobei der zuschaltbare Speicherbehälter einen Druck von 12 bar aufweisen kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Schachtofens, bei dem ein oberer Bereich des Schachtofens mit Rohmaterialien beschickt wird, die unter Einfluss der Schwerkraft im Schachtofen absinken, wobei ein Teil der Rohmaterialien unter Einwirkung der innerhalb des Schachtofens herrschenden Atmosphäre geschmolzen und/oder zumindest teilweise reduziert wird, und in einem unteren Bereich des Schachtofens ein Behandlungsgas eingeleitet wird, das die innerhalb des Schachtofens herrschende Atmosphäre zumindest teilweise beeinflusst,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Einteilung des Behandlungsgases derart quasi-

periodisch moduliert wird, dass bei der Modulation der Betriebsgrößen Druck p und/oder Volumenstrom V zumindest zeitweise innerhalb einer Periodendauer von ≤ 5 s variiert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Modulation quasi-periodisch erfolgt, wobei für die Periodendauer T $5\text{ s} \geq T \geq 60\text{ ms}$ gilt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Modulation pulsationsartig erfolgt, wobei für eine Pulsbreite σ eines Pulses $5\text{ s} > \sigma \geq 1\text{ ms}$ gilt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Modulation über ein Einstellen mindestens einer Betriebsgröße erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Behandlungsgas auf mindestens zwei unterschiedlichen Wegen in den Schachtofen eingeleitet wird, und eine erste Betriebsgrößen für die Steuerung des entlang des ersten Weges einzuleitenden Anteils des Behandlungsgases dynamisch moduliert wird, sowie eine zweite Betriebsgröße zur Steuerung des entlang des zweiten Weges eingeleiteten Anteils des Behandlungsgases dynamisch moduliert wird, wobei es sich bei der ersten und zweiten Betriebsgröße um die gleiche Betriebsgröße und unterschiedliche Modulationen handelt oder es sich bei der ersten und zweiten Betriebsgröße um unterschiedliche Betriebsgrößen und gleiche Modulationen handelt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die erste und die zweite Betriebsgröße periodisch mit gleicher Periodendauer T moduliert werden, wobei deren relative Phase um einen vorbestimmten Wert verschoben ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei die inverse Periodendauer T^{-1} auf eine Autofrequenz eines Teilsystems der Atmosphäre innerhalb des Schachtofens eingestellt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Behandlungsgas zumindest zeitweise teilweise oder vollständig Inertgas enthält, um im Volumenstrom des Behandlungsgases angeordnete Ventile zu kühlen.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Behandlungsgas derart moduliert wird, dass das Behandlungsgas im Schachtofen eine stehende Welle ausbildet.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Einleitung des Behandlungsgases derart geregelt wird, dass die Rohmaterialien innerhalb des

Schachtofens gleichmäßig absinken.

Claims

1. Method for operating a shaft furnace, whereby an upper section of the shaft furnace is charged with raw materials which due to gravity descend inside the shaft furnace whereby the atmosphere prevailing within the shaft furnace causes part of the raw materials to melt and/or to be reduced, and in a lower section of the shaft furnace a process gas is injected, which at least partly influences the atmosphere prevailing inside the shaft furnace, **characterised in that** the injection of the process gas is quasi-periodically modulated in a manner whereby in the modulation of the process variables pressure p and/or volume flow V are varied at least intermittently within a time span of ≤ 5 s.
2. Method according to claim 1, whereby the modulation takes place quasi-periodically, whereby the cycle time T is $5 \text{ s} \geq T \geq 60 \text{ ms}$.
3. Method according to claim 1 or 2, whereby the modulation takes place in a pulsed fashion, whereby the pulse width σ of a pulse is $5 \text{ s} > \sigma \geq 1 \text{ ms}$.
4. Method according to any one of the claims 1 to 3, whereby the modulation takes place by way of the adjustment of at least one process variable.
5. Method according to any one of the claims 1 to 4, whereby the process gas is injected into the blast furnace through at least two different channels, and a first process variable serving to control the process-gas component being injected along the first channel is dynamically modulated, as well as a second process variable serving to control the process-gas component being injected along the second channel is dynamically modulated, whereby the first and the second process variable are identical process variables modulated differently or the first and the second process variable are different but subjected to the same modulation.
6. Method according to claim 5, whereby the first and the second process variable are periodically modulated with the same cycle time T , whereby their relative phase is shifted by a specific value.
7. Method according to any one of the claims 2 to 6, whereby the inverse cycle time T^{-1} is set at a self-resonant frequency of a partial system of the atmosphere within the blast furnace.
8. Method according to any one of the claims 1 to 7,

whereby the process gas contains at least temporarily partly or entirely an inert gas for cooling valves positioned in the volume flow of the process gas.

9. Method according to any one of the claims 1 to 8, whereby the process gas is modulated in a manner such as to generate a stationary wave of the process gas in the shaft furnace.
10. Method according to any one of the claims 1 to 9, whereby the injection of the process gas is regulated in such a way, that the raw materials descend in a uniform fashion within the shaft furnace.

Revendications

1. Procédé pour faire fonctionner un four à cuve,
 - selon lequel on alimente une zone supérieure du four à cuve avec des matières premières qui descendent dans le four à cuve sous l'action de la gravité, une partie des matières premières étant fondue et/ou au moins partiellement réduite sous l'action de l'atmosphère régnant à l'intérieur du four à cuve,
 - et selon lequel on introduit dans une zone inférieure du four à cuve un gaz de traitement qui influence au moins partiellement l'atmosphère régnant à l'intérieur du four à cuve,

caractérisé en ce que l'on module l'introduction du gaz de traitement de manière quasi-périodique de telle sorte que, lors de la modulation, on modifie les grandeurs de fonctionnement pression p et/ou débit volumique V au moins temporairement dans les limites d'une durée de période ≤ 5 s.
2. Procédé selon la revendication 1, la modulation s'effectuant de manière quasi-périodique, la durée de période T étant telle que $5 \text{ s} \geq T \geq 60 \text{ ms}$.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, la modulation s'effectuant à la manière d'impulsions, la largeur σ d'une impulsion étant telle que $5 \text{ s} \geq \sigma \geq 1 \text{ ms}$.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, la modulation s'effectuant par l'intermédiaire d'un réglage d'au moins une grandeur de fonctionnement.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, le gaz de traitement étant introduit par au moins deux voies différentes dans le four à cuve, une première grandeur de fonctionnement étant modulée de façon dynamique pour la commande de la part du gaz de traitement qui doit être introduite par la première voie et une deuxième grandeur de fonctionnement étant modulée de façon dynamique pour la commande de

la part du gaz de traitement qui doit être introduite par la deuxième voie, la première et la deuxième grandeur de fonctionnement correspondant à la même grandeur de fonctionnement et à des modulations différentes ou la première et la deuxième grandeur de fonctionnement correspondant à des grandeurs de fonctionnement différentes et à la même modulation.

5

6. Procédé selon la revendication 5, la première et la deuxième grandeur de fonctionnement étant modulées de manière périodique avec une durée de période T identique, leurs phases relatives étant décalées d'une valeur prédéterminée.

10

7. Procédé selon l'une des revendications 2 à 6, l'inverse de la durée de période T^{-1} étant réglée sur une autofréquence d'un système partiel de l'atmosphère à l'intérieur du four à cuve.

15

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, le gaz de traitement contenant au moins temporairement, partiellement ou complètement, du gaz inerte pour refroidir des vannes placées dans le débit volumique du gaz de traitement.

20

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, le gaz de traitement étant modulé de telle sorte que le gaz de traitement forme une onde stationnaire dans le four à cuve.

25

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, l'introduction du gaz de traitement étant régulée de telle sorte que les matières premières descendent régulièrement à l'intérieur du four à cuve.

30

35

40

45

50

55

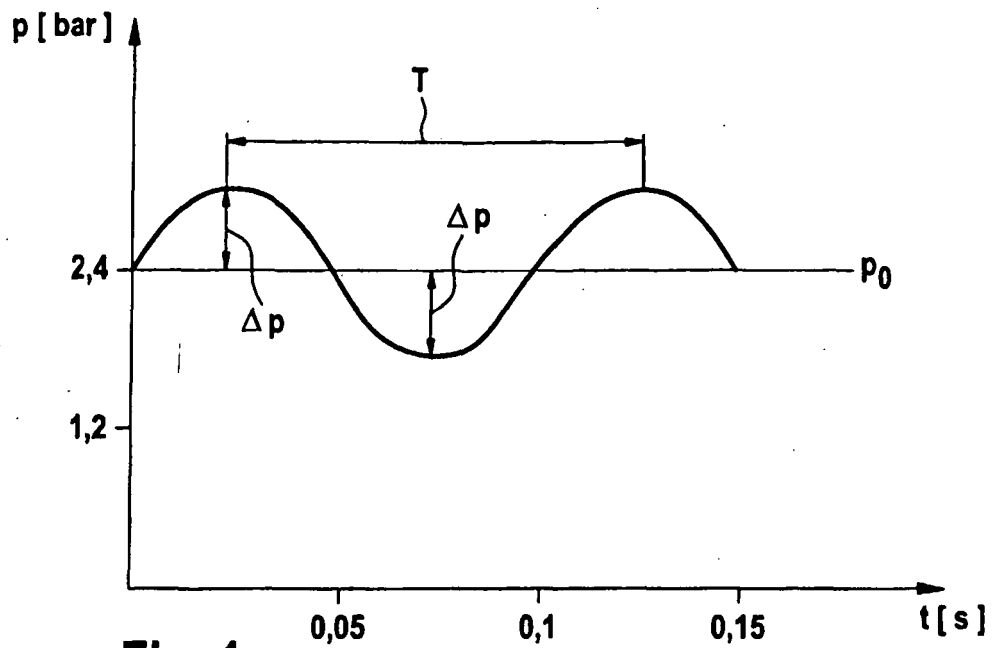


Fig. 1

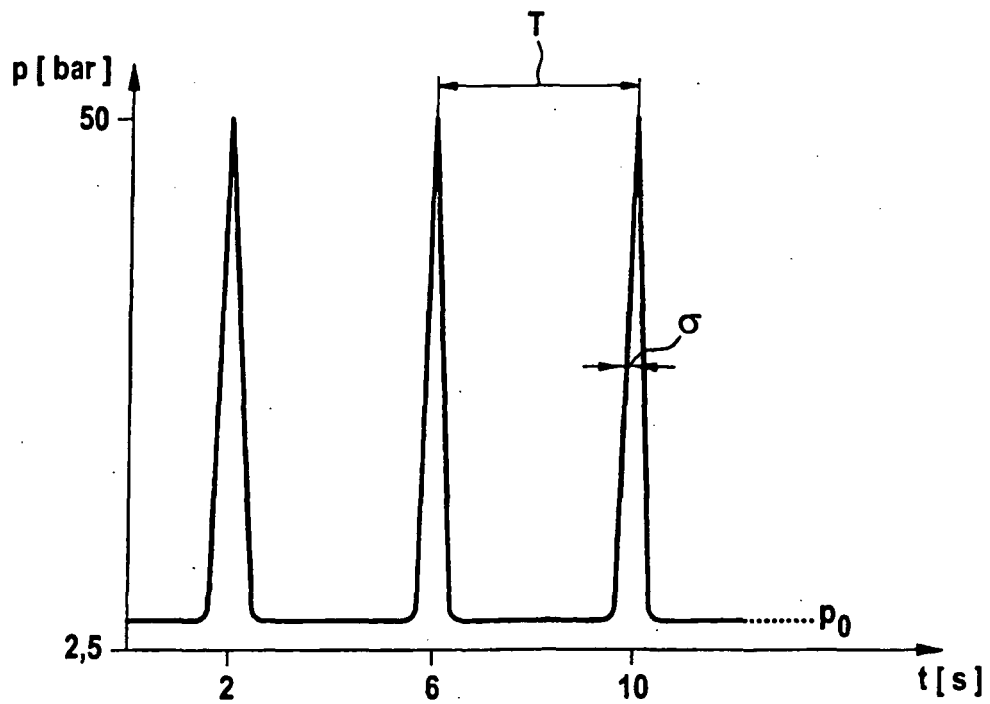


Fig. 2

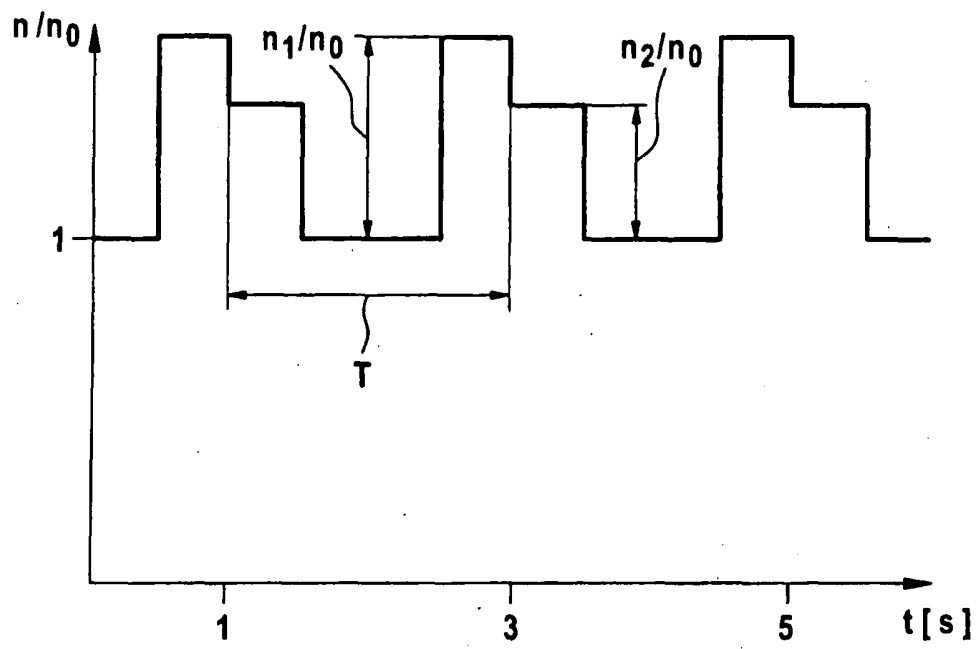


Fig. 3

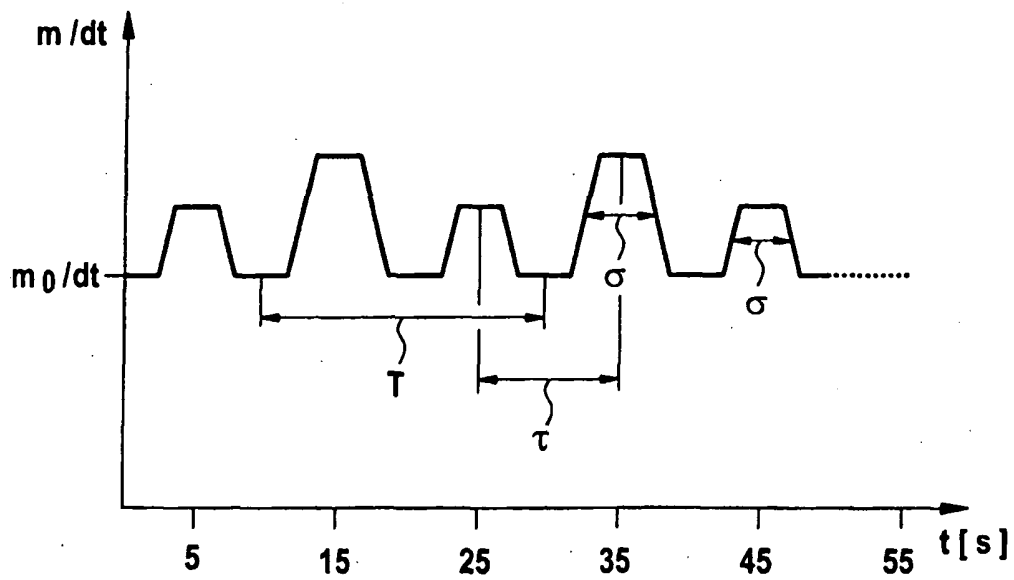


Fig. 4

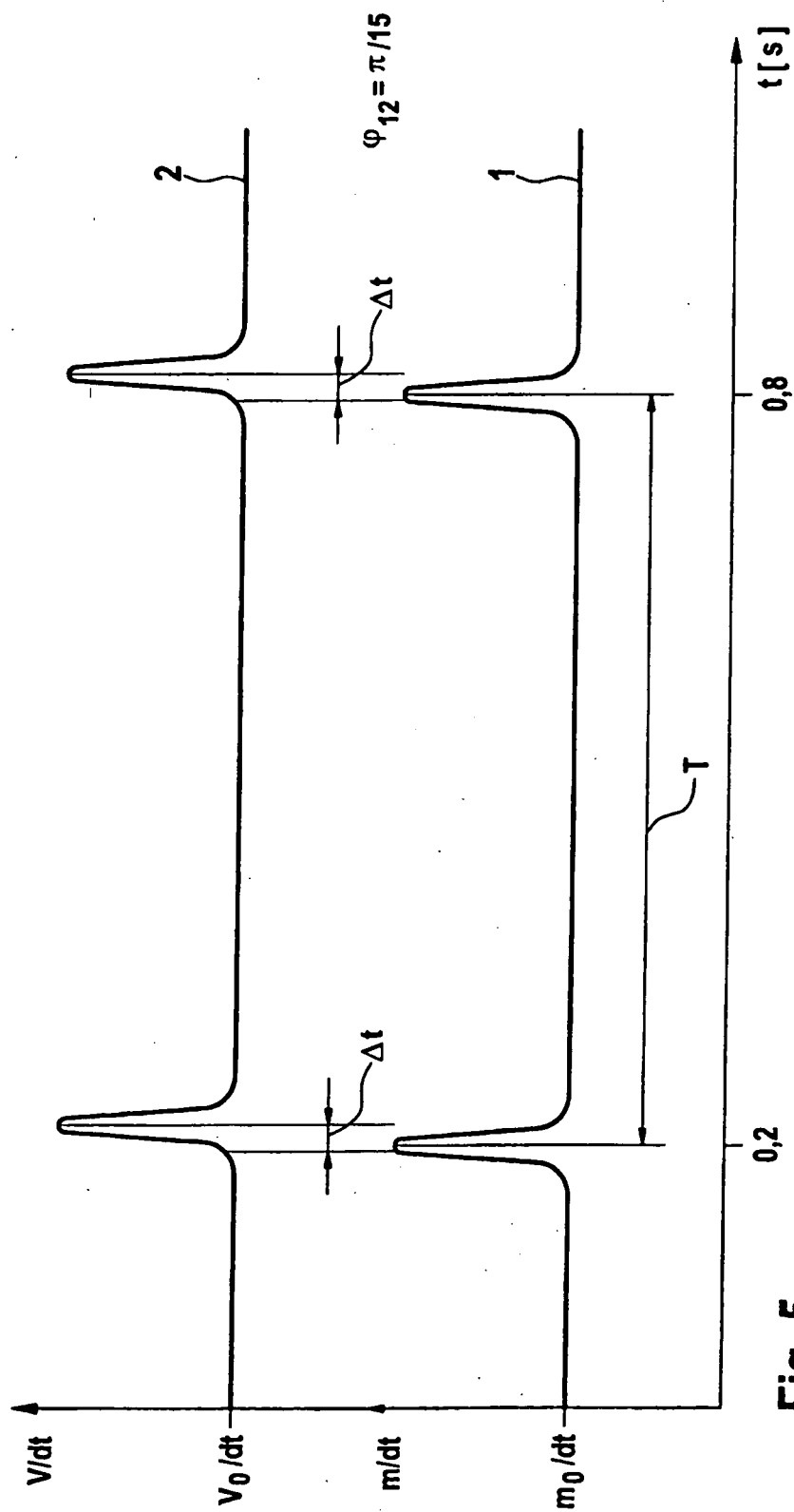


Fig. 5

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 0136891 A3 [0008]