



(19)

REPUBLIK  
ÖSTERREICH  
Patentamt

(10) Nummer:

AT 408 101 B

(12)

## PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer:

300/97

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: C21B 13/02

(22) Anmeldetag:

24.02.1997

(42) Beginn der Patentdauer:

15.01.2001

(45) Ausgabetag:

25.09.2001

(30) Priorität:

22.02.1996 US 603922 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:

AT 328481B DE 4041689A1 DE 4128379A1  
DE 4437679A1 EP 0204684A1

(73) Patentinhaber:

INTERNATIONAL BRIQUETTES HOLDING  
CARACAS (VE).

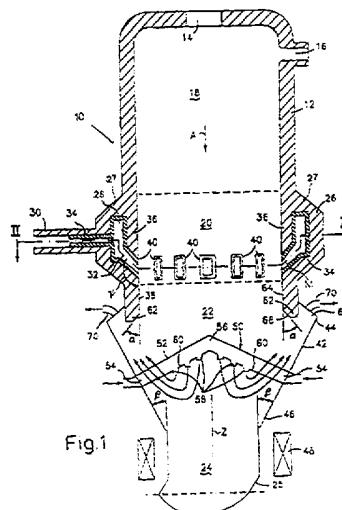
(72) Erfinder:

DAM OSCAR G.  
PUERTO ORDAZ (VE).

### (54) SCHACHTOFEN ZUM DIREKTNEN REDUZIEREN VON OXIDEN UND VERFAHREN DAZU

AT 408 101 B

(57) Ein Schachtofen (10) zur Reduktion von Oxiden enthält einen Schacht (12), der einen Oxideinlaß (14) und eine diesem nachgeordnete Vorwärm- und Vorreduktionszone (18) aufweist sowie eine letzterer folgende Reduktionszone (20); der Reduktionszone (20) ist eine Durchgangs- oder Übergangszone (22) und dieser eine Entnahmeezone (24) nachgeordnet. Mit dem Schacht (12) steht eine Reformierungszone (28) zur Reformierung eines methanhaltigen Gases in ein reformiertes Gas und zum Einleiten des reformierten Gases in die Reduktionszone (20) in Verbindung, wodurch in letzterer befindliche Oxide durch das reformierte Gas reduziert werden. Die Reformierungszone (26) ist ringförmig um den Schacht (12) gelegt und mit dessen Innenraum über Durchgänge (32) verbunden, unterhalb deren eine Injektionseinrichtung (50) für Kühlgas vorgesehen ist.



Die Erfindung betrifft einen Schachtofen zum direkten Reduzieren von Oxiden, insbesondere von Eisenoxiden, nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 1, wie aus der EP 0 204 684 B1 bekannt. Zudem erfaßt die Erfindung ein Verfahren zum Direktreduzieren solcher Oxide.

Herkömmlicherweise werden Schachtofen zur Behandlung von Metalloxiden - etwa von Eisenoxiden - bei hohen Temperaturen mit einem Reduktionsmaterial, wie beispielsweise an Wasserstoff und Kohlenmonoxid reichem Reduktionsgas, so eingesetzt, daß die Oxide reduziert werden und somit ein metallisiertes Produkt, wie beispielsweise reduziertes Eisen, an einer Entnahmestelle des Schachtofens gewonnen wird.

Typischerweise wird das in den Schachtofen einzubringende Reduktionsgas in einem als Reformer bekannten externen Reaktor gebildet, in welchem Methan und andere Erdgase - zur Verwendung bei der Behandlung von Oxiden im Schachtofen - in Reduktionsgase reformiert werden, die reich an Wasserstoff und Kohlenmonoxid sind. Bei anderen herkömmlichen Schachtofen wird das Reduktionsgas in der eigentlichen Reaktions- oder Reduktionszone des Ofens gebildet.

Es besteht Bedarf an einem Schachtofen zum Direktreduzieren von Oxiden, der keine zusätzlichen Reformierungsanlagen oder Reaktoren benötigt und der den bei der Verwendung von ineffektiven Reformern bzw. Reformierungsreaktionen erforderlichen Energieverbrauch reduziert.

In Kenntnis dieser Gegebenheiten ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen verbesserten Schachtofen zum Direktreduzieren von Oxiden nach dem Oberbegriff des Anspruches 1 zu schaffen, der eine Reformierungszone zur Reformierung von Methan und/oder Erdgasen in Reduktionsgase enthält, welche in die Oxidreduktionszone einzubringen sind, bei welchem der Energieverbrauch vermindert und die Anlagenstruktur vereinfacht ist.

Zur Lösung dieser Aufgabe führen die Lehren der unabhängigen Patentansprüche; die Untersprüche erfassen günstige Weiterbildungen.

Erfnungsgemäß wird ein Schachtofen zum direkten Reduzieren von Oxiden zur Verfügung gestellt, der einen Schacht mit einem Oxideinlaß und eine dem Oxideinlaß nachgeordnete Vorwärm- und Vorreduktionszone enthält, zudem eine der Vorwärm- und Vorreduktionszone nachgeordnete Reduktionszone, eine der Reduktionszone nachgeordnete Durchgangs- oder Übergangszone und eine dieser nachgeordnete Entnahmemezone; mit dem Schacht steht zudem ein Reformierungsmittel zur Reformierung eines methanhaltigen Gases in ein reformiertes Gas und zur Einbringung des reformierten Gases in die Reduktionszone in Verbindung, wodurch die in der Reduktionszone enthaltenen Oxide durch das reformierte Gas reduziert zu werden vermögen.

Weiterhin enthält der Schachtofen im Rahmen der Erfindung eine mit der Reduktionszone in Verbindung stehende Gasreformierungszone oder -einrichtung sowie Mittel zum Einbringen eines methanhaltigen Gases in die Reformierungszone; in dieser wird das methanhaltige Gas in ein Reduktionsgas reformiert und letzteres in die Reduktionszone eingebracht.

Nach einem Merkmal der Erfindung weist der Schachtofen eine zumindest um einen Abschnitt des Schachtes herum angeordnete Wand zur Begrenzung der Reformierungszone auf sowie bevorzugt einen Einsatz, welcher durch diese Wand getragen und zum Induzieren der Gasreformierung in der Reformierungszone mit einem Katalysatormaterial imprägniert wird. Vorteilhafterweise soll jener Einsatz auf der Wand abnehmbar angebracht sein, um ein Ersetzen des verbrauchten Katalysatormaterials zu erleichtern.

Als günstig hat sich ein Nickelkatalysator als Katalysatormaterial erwiesen.

Erfnungsgemäß umfaßt die Wand ein im wesentlichen ringförmiges Glied, welches in solcher Weise um den Schacht herum angeordnet ist, daß dazwischen eine im wesentlichen ringförmige Reformierungszone entsteht. Auch soll die Gasreformierungseinrichtung einen Einlaß zur Einbringung eines methanhaltigen Gases in die ringförmige Reformierungszone anbieten, so daß ein reformiertes Gas gebildet werden kann, zudem einen Auslaß zur Beförderung des reformierten Gases von der Reformierungszone zur Reduktionszone.

Als besonders günstig hat es sich erwiesen, der Gasreformierungseinrichtung darüber hinaus einen Katalysator zum Auslösen der Reformierungsreaktion des methanhaltigen Gases zuzuordnen, um jenes reformierte Gas zu erhalten.

Im Rahmen der Erfindung weist der ringförmige Bereich eine Innenwand auf, die mit einem Außenwandabschnitt jenes Schachtes zusammen die ringförmige Reformierungszone begrenzt; diese Innenwand und diese Außenwand tragen jenen Katalysator. Die dem methanhaltigen Gas ausgesetzte Oberfläche des Katalysators kann - beispielsweise durch Aufrauhung - vergrößert

werden.

Vorteilhafterweise umfaßt die Auslaßeinrichtung zumindest einen mit der Reformierungszone und der Reduktionszone in Verbindung stehenden Durchgang, wobei bevorzugt zumindest ein Durchgang in einem Winkel von wenigstens etwa  $120^\circ$  - bevorzugt zwischen etwa  $120^\circ$  und etwa  $150^\circ$  - zur Strömungsrichtung der Oxids in der Reduktionszone angeordnet ist.

Der Schacht enthält also ein im wesentlichen zylindrisches Glied, welches die Reduktionszone bestimmt und zur Beförderung von Oxiden zur Übergangszone über ein Auslaßende aus der Reduktionszone verfügt, wobei das Auslaßende einen Innendurchmesser aufweist. Der Schacht bietet darüber hinaus einen im wesentlichen konisch geformten Bereich an, welcher die Übergangszone begrenzt und einen Innendurchmesser besitzt, der sich in Strömungsrichtung der Oxide in der Übergangszone von einem Einlaßdurchmesser an einem zur Aufnahme von Oxiden aus der Reduktionszone dienenden Einlaßende - dessen Durchmesser größer ist als der Innendurchmesser des Auslaßendes der Reduktionszone - bis zu einem Auslaßdurchmesser an einem Auslaßende der Übergangszone verjüngt. Das Auslaßende dient zur Beförderung von Oxiden zur Entnahmeezone, wobei der Auslaßdurchmesser kleiner ist als der Innendurchmesser des Auslaßendes der Reduktionszone. Das Einlaßende der Übergangszone und das Auslaßende der Reduktionszone begrenzen einen Sammelbereich zur Ansammlung von Kühlgas, darüber hinaus ist eine Einrichtung zum Einführen von Kühlgas in die Übergangszone vorhanden sowie ein mit dem Sammelbereich in Verbindung stehenden Kühlgasauslaß. Die innere Wandfläche des konischen Bereichs soll im übrigen zu einer Zentralachse - zum Auslaßende hin - in einem Winkel zwischen etwa  $8^\circ$  bis etwa  $12^\circ$  nach innen geneigt sein.

Im Rahmen der Erfindung liegt eine Einrichtung zum Einbringen des Kühlgases mit zumindest einem in der Übergangszone angeordneten Hohlschaft oder -stab, zumindest einem Einlaß für das Kühlgas in den Hohlschaft sowie zumindest einer Kühlgasdüse zur Beförderung des Kühlgases aus dem Hohlschaft zur Übergangszone. Die Kühlgasdüsen sollen bevorzugt auf einem stromabwärts gerichteten Abschnitt des Hohlschaftes angeordnet sein.

Bevorzugt ist eine Mehrzahl von Hohlschäften vorgesehen, die radial innerhalb der Übergangszone positioniert und an einem zentralen Nabenglied zusammengefügt sind, an dem diese Hohlschäfte in einem Winkel in Strömungsrichtung der Oxide geneigt ausgerichtet sind.

Außerdem wird ein Verfahren zum Direktreduzieren von Oxiden zur Verfügung gestellt, welches folgende Schritte umfasst. In den Schachtofen, der einen Oxideinlass, eine diesem Oxideinlass nachgeordnete Vorwärm- und Vorreduktionszone, eine letzterer nachgeordnete Reduktionszone, eine der Reduktionszone folgende Durchgangs- oder Übergangszone, eine dieser nachgeordnete Entnahmeezone und eine mit der Reduktionszone in Verbindung stehende Gasreformierungszone aufweist, werden die Oxide über den Oxideinlass eingetragen und stromabwärts durch den Schachtofen zur Entnahmeezone geführt; es wird ein methanhaltiges Gas in die Gasreformierungszone eingeleitet, so dass das methanhaltige Gas in ein in die Reduktionszone strömendes Reduktionsgas reformiert wird. In der Vorwärm- und Vorreduktionszone wird eine Temperatur zwischen etwa Umgebungstemperatur und etwa  $760^\circ$  sowie in der Reduktionszone zwischen etwa  $760^\circ$  und etwa  $960^\circ\text{C}$  eingestellt, wodurch die Oxide in der Reduktionszone in solcher Weise reduziert werden, dass an der Entnahmeezone ein reduziertes, metallisiertes Produkt abgezogen werden kann. Im übrigen soll die Übergangszone zur Kühlung auf einer Temperatur von kleiner oder gleich etwa  $760^\circ\text{C}$  gehalten werden, bevorzugt auf kleiner oder gleich etwa  $650^\circ\text{C}$ , insbesondere etwa  $55^\circ\text{C}$ .

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnung; diese zeigt in:

Fig. 1: einen vertikalen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Schachtofen;

Fig. 2: einen horizontalen Querschnitt durch den Schachtofen gemäß Linie II-II der Fig. 1;

Fig. 3: eine Unteransicht einer Injektionseinrichtung für Kühlgas.

Der nachfolgend beschriebene Schachtofen zur direkten Reduktion von Oxiden, insbesondere von Eisenoxiden, weist eine Gasreformierungskammer bzw. eine Zone zur Reformierung von Gas in reformiertes Gas bzw. Reduktionsgas auf. Bei ihm sind vorteilhafterweise zusätzliche, separate Reformer und dergleichen nicht erforderlich, und er erlaubt außerdem eine effiziente und effektive Herstellung von Reduktionsgas, wodurch das gesamte Direktreduktionsverfahren erheblich verbessert wird.

Ein erfindungsgemäßer Schachtofen 10 enthält vorzugsweise einen im wesentlichen zylindrischen Schacht 12 mit einem Einlaß 14 für Oxide und einer Gasaustrittsöffnung 16, einen im wesentlichen konisch geformten Abschnitt als Socketteil 42 und eine Bodenkonstruktion 25. Diese Teile werden nachfolgend jeweils näher beschrieben. Der Schacht 12 sowie - bis zu einem gewissen Grade - das Socketteil 42 und die Bodenkonstruktion 25 bestimmen mehrere Innenzonen, in welchen verschiedene Stufen der Behandlung von Oxiden während des Direktreduktionsverfahrens ablaufen.

5 Im oberen Abschnitt des in Fig. 1 dargestellten Schachtes 12 ist allgemein mit Bezugsziffer 18 eine Vorwärm- und Vorreduktionszone gezeigt, unterhalb der Vorwärm- und Vorreduktionszone 18 mit Bezugsziffer 20 allgemein eine Reduktionszone. Unterhalb der Reduktionszone 20 befindet sich eine Durchgangs- oder Übergangszone 22 sowie unterhalb dieser eine Entnahmezone 24. Ein Abschnitt der Übergangszone 22 und der Entnahmezone 24 wird durch das konische Socketteil 42 gebildet, und die Bodenkonstruktion 25 umfaßt einen restlichen Abschnitt der Entnahmezone 24.

10 Oxid strömt während seiner Behandlung innerhalb des Schachtes 12 im allgemeinen abwärts, wie in Fig. 1 durch Pfeil A dargestellt. Hierzu ist die Vorwärm- und Vorreduktionszone 18 dem Oxideinlaß 14 nachgeordnet, um die zu behandelnden Oxide aufzunehmen. Der Reduktionszone 20 folgt die Vorwärm- und Vorreduktionszone 18, während die Durchgangs- oder Übergangszone 22 der Reduktionszone 20 und die Entnahmezone 24 der Übergangszone 22 nachgeordnet sind.

15 Weiterhin ist erfindungsgemäß ein im wesentlichen ringförmig ausgebildeter Bereich 26 derart um zumindest einen Abschnitt des Schachtes 12 angeordnet, daß durch die Innenseite des Ringbereiches 26 und die Außenseite des eigentlichen Schachtes 12 eine Reformierungszone 28 entsteht. Ein Gaseinlaß 30 ist so angeordnet, daß er mit der Reformierungszone 28 in Verbindung steht und sich durch einen Teil der Wand des Ringbereiches 26 hindurch erstreckt. Der Ringbereich 26 kann in geeigneter Weise als ein gesondertes, an der Außenseite des Schachtes 12 befestigtes Element vorgesehen werden oder alternativ einen integralen Bestandteil des Schachtes 12 bilden. Wie abgebildet, verfügt der Ringbereich 26 - querschnittlich gesehen - vorzugsweise über Schenkelabschnitte 27, welche sich bis zum Schacht 12 erstrecken sowie obere und untere Grenzen der Reformierungszone 28 bilden.

20 Wie in der Zeichnung dargestellt, sind erfindungsgemäß in der Wand des Schachtes 12 Durchbrüche oder Durchgänge 32 in solcher Weise angeordnet, daß zwischen der Reformierungszone 28 und der Reduktionszone 20 eine Verbindung besteht. Dank der Durchgänge 32 kann reformiertes Gas aus der Reformierungszone 28 in die Reduktionszone 20 strömen, in welcher - nach Wunsch - Material behandelt wird.

25 Erfindungsgemäß und vorteilhafterweise wird das bei der Behandlung von Oxiden in der Reduktionszone 20 zu verwendende Reduktionsgas - direkt vor dessen Einbringen durch die Durchgänge 32 in die Reduktionszone 20 - in der Reformierungszone 28 gebildet. Hierzu wird ein bei 34 angedeutetes Katalysatormaterial vorzugsweise entlang der; die Reformierungszone 28 begrenzenden Wänden des Ringbereiches 26 und des Schachtes 12 angebracht, um die gewünschte Reformierung von durch den Gaseinlaß 30 eingebrachten Gasen auszulösen. Das Katalysatormaterial 34 kann auch in zumindest einem Teil des Gaseinlasses 30 und der dargestellten Durchgänge 32 in solcher Weise vorgesehen werden, daß der Kontakt des Gases mit dem Katalysatormaterial 34 verstärkt wird.

30 Erfindungsgemäß bestehen zu reformierende Gase typischerweise aus einer Mischung von Gasen mit einem hohen Gehalt an Methan und/oder Erdgas, welches in dieser Beschreibung als methanhaltiges Gas bezeichnet wird, sowie aus einer Sauerstoffquelle. Werden solche Zuführmaterialien mit Katalysatormaterial 34 bei gewünschten Temperaturen in Kontakt gebracht, ergeben sich an Wasserstoff und Kohlenmonoxid reiche reformierte Reduktionsgase, die erfindungsgemäß durch die Durchgänge 32 in die Reduktionszone 20 eingebracht werden.

35 Weiterhin sei auf Fig. 1 Bezug genommen. Vorzugsweise besteht zumindest ein Abschnitt 36 des Schachtes 12, welcher die Innenwand der Reformierungszone 28 bilden und die Reformierungszone 28 von der Reduktionszone 20 abgrenzt, aus einem feuerfesten Material, welches bei den gewünschten, zur Direktreduktion erforderlichen Temperaturen zur Verstärkung der vorgesehenen Wirkungsweise des Schachtofens 10 beiträgt.

40 Des Weiteren gehört es zur Erfindung, daß das Katalysatormaterial 34 vorzugsweise aus einem beliebigen Katalysator besteht, insbesondere aus einem Metall-Katalysator, welcher die gewünsch-

te Gasreformierungsreaktion verstärkt bzw. auslöst. Ein Nickelkatalysator hat sich zur Verstärkung der gewünschten Gasreformierungsreaktion erfindungsgemäß als besonders effektiv erwiesen.

Das Katalysatormaterial 34 kann in geeigneter Weise entlang den Wandoberflächen der Reformierungszone 28 auf viele verschiedene Arten vorgesehen werden. Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel werden Keramikeinsätze an den Wandoberflächen der Reformierungszone 28 vorgesehen bzw. an diesen angebracht, und das Katalysatormaterial 34 kann in geeigneter Weise auf die Keramikeinsätze aufgebracht, imprägniert oder anderweitig aufgetragen werden. Bevorzugt wird, daß die mit Katalysatormaterial 34 versehenen Keramikeinsätze hinsichtlich der Reformierungszone 28 abnehmbar und austauschbar sind, so daß verbrauchtes Katalysatormaterial ohne wesentliche Unterbrechung des Direktreduktionsverfahrens leicht ersetzt werden kann. Selbstverständlich könnte das Katalysatormaterial 34 direkt auf die Wände die Reformierungszone 28 bestimmenden Wände aufgetragen bzw. auf viele andere Arten aufgebracht werden, falls dies erwünscht ist.

Erfindungsgemäß werden vorzugsweise auch Durchgänge 32, welche die Reformierungszone 28 mit der Reduktionszone 20 in Verbindung bringen, in solcher Weise vorgesehen, daß die Durchgänge 32 in einem Winkel  $\psi$  zur Strömungsrichtung der Oxide innerhalb des Schachtes 12 von zumindest etwa  $120^\circ$ , vorzugsweise zwischen etwa  $120^\circ$  und etwa  $150^\circ$  - und in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel in einem Winkel von etwa  $135^\circ$  - geneigt angebracht sind. In Fig. 1 ist dieser Neigungswinkel  $\psi$  zwischen einer Mittellinie M des Durchgangs 32 und der inneren Wandfläche 38 des Schachtes 12 zu erkennen. Diese Ausrichtung des Durchgangs 32 ist vorteilhaft für die Vermeidung von übermäßigem Druck von Oxiden und/oder reduzierten Metallprodukten, welche im Schacht 12 auf die den Durchgang 32 begrenzenden Oberflächen strömen, und dient hierdurch - wie gewünscht - dem effizienten Einbringen von heißen, reformierten Gasen in die Reduktionszone 20. Wie aus Fig. 1 ersichtlich, führen die Durchgänge 32 durch Öffnungen oder Mündungen 40 in die Reduktionszone 20; in der Zeichnung sind mehrere dieser um den Umkreis des Schachtes 12 angeordneten Öffnungen oder Mündungen 40 dargestellt.

Nach einem weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel ist eine relativ große, innere wirksame Oberfläche der Reformierungszone 28 wünschenswert und vorgesehen, da dies eine effiziente und im wesentlichen vollständige Reformierung von Methan und/oder Erdgas in der Reformierungszone 28 ergibt. Dies dient vorteilhafterweise dazu, einen guten Kontakt zwischen den zu reformierenden Methangasen und dem Reformierungskatalysator zu gewährleisten, und führt zu Reformierungswerten (reformation rates) von 80% von Ausgangsmethan am Ausgang der Reformierungszone 28. Das Vorsehen einer Vielzahl von Durchgängen 32 sowie die Ausdehnung der Reformierungszone 28 nach oben in einer im wesentlichen ringförmigen Ausbildung um den Schacht 12 herum dient vorteilhafterweise der Verbesserung und Vergrößerung der Oberfläche der Reformierungszone 28, wie dies erfundungsgemäß gewünscht wird. Zudem kann die Oberfläche des Katalysatormaterials 34 zur weiteren Vergrößerung der Oberfläche der Reformierungszone 28 vorzugsweise aufgerautet werden.

Es sollte nunmehr deutlich erkennbar sein, daß die Reformierungszone 28 vorteilhafterweise einer Vermeidung separater Reformierungsreaktoren dient und außerdem ein effizientes Mittel zur Reformierung von Erdgas liefert, um die Reduktionszone 20 unmittelbar mit heißen Reduktionsgasen auszustatten.

Wie gesagt, wird die Durchgangs- oder Übergangszone 22 vorzugsweise durch das im wesentlichen konisch geformte Sockelteil 42 begrenzt, das über einen Innendurchmesser verfügt, der sich von einem oberen Einlaßbereich 44 - der reduzierte Oxide aus der Reduktionszone 20 aufnimmt - zu einem Austragsende 46, aus welchem reduzierte Oxide zur Entnahmezone 24 gelangen, hin verjüngt, wobei die Entnahmezone 24 durch die Bodenkonstruktion 25 begrenzt sein kann, wie sie schematisch in der Zeichnung als eine im wesentlichen zylindrische Kappe mit im allgemeinen horizontalem Auslaß dargestellt ist.

Erfindungsgemäß ist das konische Sockelteil 42 vorzugsweise vom Einlaßbereich 44 zum Austragsende 46 hin in einem Winkel  $\beta$  von zwischen etwa  $8^\circ$  und etwa  $12^\circ$  zur Zentralachse Z des Sockelteils 42 nach innen abgeschrägt. Dies ist wünschenswert, um die ideale Strömung von Feststoffen im Schacht 12 in Richtung auf die Entnahmezone 24 der Bodenkonstruktion 25 aufrechtzuhalten. Von der Übergangszone 22 werden reduzierte Oxide zur Entnahmezone 24 gefördert, wo vorzugsweise ein Magnetventil 48 zur Steuerung der Entnahme des reduzierten bzw. metallisierten

Produkts aus der Entnahmezone 24 angeordnet ist.

Erfnungsgemäß werden vorzugsweise bestimmte Temperaturen im Schachtofen 10 zur Auslösung und Verstärkung der gewünschten Reaktionen in den verschiedenen Zonen aufrechterhalten. In dieser Hinsicht wird die Temperatur in der Vorwärm- und Vorreduktionszone 18 vorzugsweise zwischen etwa Raumtemperatur und etwa 760°C gehalten sowie die Temperatur in der Reduktionszone 20 zwischen etwa 760°C und etwa 960°C, um in der Reduktionszone 20 die spezielle Reduktionsreaktion zu gewährleisten. Die Übergangszone 22 ist zur zumindest teilweisen Abkühlung des aus der Reduktionszone 20 kommenden reduzierten, metallisierten Produkts vorgesehen, wobei vorzugsweise Kühlgas, wie nachfolgend erläutert, verwendet wird, um die Temperatur des reduzierten, metallisierten Produkts auf ein gewünschtes Niveau zu senken, das für den nächsten Behandlungsschritt geeignet ist, dem das reduzierte Produkt unterzogen wird.

Hierzu kann das reduzierte Endprodukt auf einer relativ hohen Temperatur gehalten und zu Briketts oder, falls gewünscht, zu anderen Formen gestaltet werden, oder es kann zur Entnahme aus dem Schachtofen 10 in kaltem Zustand größtenteils abgekühlt werden. Das erfungsgemäß Kühlen des reduzierten Endproduktes trägt mit dazu bei, eine Rückoxidation des reduzierten Endprodukts zu vermeiden. Erfungsgemäß wird deshalb Kühlgas vorzugsweise in die Übergangszone 22 injiziert oder eingepreßt, so daß das aus der Reduktionszone 20 kommende heiße, reduzierte, metallisierte Produkt auf eine Temperatur von kleiner oder gleich etwa 760°C, vorzugsweise auf eine Temperatur von kleiner als etwa 650°C, zum Brikettieren abgekühlt wird sowie zur Entnahme in kaltem Zustand auf eine Temperatur von vorzugsweise kleiner oder gleich etwa 55°C.

Wie insbesondere Fig. 1 und 3 erkennen lassen, enthält der Schachtofen 10 vorzugsweise eine Injektionseinrichtung 50 für Kühlgas, die vorzugsweise innerhalb der Übergangszone 22 vorgesehen ist und zum Einpressen von Kühlgas in direkten Kontakt mit dem heißen, reduzierten Produkt in der Übergangszone 22 dient. Fig. 1 zeigt eine schematische Seitenansicht der Kühlgasinjektionseinrichtung 50, die eine Mehrzahl von Hohlschäften oder -stäben 52 aufweist, von denen jeder über ein Einlaßende 54 verfügt und an eine Art von (hub) Nabe 56 angefügt ist; diese ist im wesentlichen zentral innerhalb der Übergangszone 22 angeordnet. Wie in der Zeichnung dargestellt, enthält vorzugsweise jeder der Hohlschäfte 52 mehrere Düsen 58, die vorzugsweise auf der stromabwärts gerichteten Unterseite 60 der Hohlschäfte 52 angeordnet sind, so daß Kühlgas von der stromabwärts gerichteten Seite der Hohlschäfte 52 in die Übergangszone 22 eingepreßt wird.

In Fig. 3 wird eine Unteransicht der Kühlgasinjektionseinrichtung 50 dargestellt und mit vier an eine einzige Nabe 56 angeschlossenen Hohlschäften oder -stäben 52, wobei jeder Hohlschäfte 52 drei auf der Unterseite 60 bzw. auf seinem stromabwärts gerichteten Wandabschnitt angeordnete Düsen 58 aufweist.

Fig. 1 zeigt außerdem, daß jeder der Hohlschäfte 52 innerhalb des Schachtes 12 - von der Nabe 56 weg - in Strömungsrichtung der Feststoffe geneigt ist. Dies dient vorteilhafterweise weiterhin zur strukturellen Verstärkung der Kühlgasinjektionseinrichtung 50 gegen Druck und den Aufprall der im Schacht 12 in Pfeilrichtung A nach unten strömenden Feststoffe.

Weiterhin weist in Übereinstimmung mit diesem alternativen Ausführungsbeispiel der Erfahrung der Einlaßbereich 44 des konischen Sockelteils 42 einen größeren Querschnitt bzw. Durchmesser auf als das Auslaßende 62 des Schachtes 12. Darüberhinaus kann die Innenseite 64 dieses Auslaßendes 62 vorzugsweise - wie in Fig. 1 dargestellt - nach außen so abgeschrägt sein, daß eine in einem Winkel  $\alpha$  zur Vertikalen bzw. zur Innenseite 64 geneigte Pultfläche 66 entsteht; deren Winkel  $\alpha$  kann zum Beispiel erfungsgemäß zwischen etwa 10° und etwa 60° betragen. Diese Maßgabe dient vorteilhafterweise dazu, einen - allgemein unter der Bezugsziffer 68 gezeigten - offenen Sammelbereich einzugrenzen, in welchem sich Kühlgas nach Durchströmen des sich in der Übergangszone 22 befindlichen festen Materials ansammeln kann. Erfungsgemäß können Auslaßöffnungen 70 vorgesehen werden, die vorzugsweise mit dem offenen Sammelbereich 68 in Verbindung stehen und erfungsgemäß dem Abführen von Kühlgas aus der Übergangszone 22 dienen.

Mit erneutem Bezug auf Fig. 1 wird nachfolgend die Funktion des erfungsgemäß Schachtofens 10 näher beschrieben. Es werden Oxide - beispielsweise Eisenoxide od.dgl. - durch den Oxideinlaß 14 dem Schachtofen 10 zugeführt. In der Zwischenzeit werden eine Mischung aus Gasen, die vorzugsweise Erdgas und/oder methanhaltige Gase enthält, sowie Oxidationsmittel - die beispielsweise Luft, Sauerstoff, Kohlendioxid, Dampf oder Mischungen daraus - bei einer bevorzugten Temperatur zwischen etwa 1000°C und etwa 1150°C in den Gaseinlaß 30 eingebracht.

Durch den Kontakt mit dem Katalysatormaterial 34 in der Reformierungszone 28 wird ein heißes Reduktionsgas gebildet, das vorzugsweise die folgende Zusammensetzung aufweist: 12,7-40,9% CO; 31-51,1% H<sub>2</sub>; 1,5-29,85% CO<sub>2</sub> und 6,42-29,1% CH<sub>4</sub>.

In der Reformierungszone 28 gebildete Reduktionsgase strömen durch die Durchgänge 32 in die Reduktionszone 20, in welcher der Kontakt mit Oxiden bei gewünschten Temperaturen die Direktreduktion der Eisenoxide zur Folge hat. Das Reduktionsgas strömt aufwärts durch die Reduktionszone 20 und die Vorwärm- und Vorreduktionszone 18, um durch die Gasaustrittsöffnung 16 auszuströmen; an dieser Stelle kann Gas, falls gewünscht, rückgeführt und rezykliert werden.

Ein heißes, reduziertes Produkt wird in der Reduktionszone 20 gebildet und gelangt von der Reduktionszone 20 in die Übergangszone 22, um sich in der Entnahmemezone 24 anzusammeln, wo es - vorzugsweise unter Verwendung eines Magnetventils 48 - schließlich abgegeben wird. Je nach dem der Entnahmemezone 24 folgenden Verfahrensschritt kann reduziertes Produkt in der Übergangszone 22 - wie oben beschrieben - durch Zuführung eines Kühlgases durch die Kühlgasinjektionseinrichtung 50 abgekühlt werden. Kühlgas tritt durch die Düsen 58 in die Übergangszone 22 ein und strömt anfangs abwärts und danach aufwärts durch das in der Übergangszone 22 befindliche Material zu den Auslaßöffnungen 70 im oberen Abschnitt der Übergangszone 22. Selbstverständlich strömt ein Teil des Kühlgases auch aufwärts durch die Reduktionszone 20 und die Vorwärm- und Vorreduktionszone 18, um zusammen mit verbrauchtem Reduktionsgas durch die Gasaustrittsöffnung 16 auszuströmen.

Wie ebenfalls oben erläutert, wird Kühlgas verwendet, um das heiße reduzierte Produkt auf eine Temperatur abzukühlen, die ausreichend niedrig ist, um eine Rückoxidation dieses Produktes zu vermeiden. Die Temperatur und Menge des einzupressenden Kühlgases können in geeigneter Weise so gewählt werden, daß das reduzierte Endprodukt die gewünschte Entnahmetemperatur aufweist.

25

#### PATENTANSPRÜCHE:

1. Schachtofen zum direkten Reduzieren von Oxiden, insbesondere von Eisenoxiden, mit einem Schacht (12), welcher einen Oxideinlass (14) aufweist und eine dem Oxideinlass nachgeordnete Vorwärm- und Vorreduktionszone (18), eine der Vorwärm- und Vorreduktionszone nachgeordnete Reduktionszone (20), eine der Reduktionszone nachgeordnete Durchgangs- oder Übergangszone (22) und eine letzterer nachgeordnete Entnahmemezone (24), wobei eine mit dem Schacht in Verbindung stehende Gasreformierungseinrichtung zum Reformieren eines methanhaltigen Gases in ein reformiertes Gas und zum Einbringen des reformierten Gases in jene Reduktionszone vorgesehen ist sowie die in der Reduktionszone enthaltenen Oxide durch das reformierte Gas reduzierbar sind, die Gasreformierungseinrichtung eine mit der Reduktionszone in Verbindung stehende Reformierungszone (28) für Gas sowie ein Mittel zum Einbringen eines methanhaltigen Gases in die Reformierungszone umfasst, das methanhaltige Gas in ein Reduktionsgas reformiert und das Reduktionsgas in die Reduktionszone einzubringen ist, gekennzeichnet durch eine zumindest um einen Abschnitt (36) des Schachtes (12) herum angeordnete Wand (26) zur Begrenzung der im wesentlichen ringförmigen Reformierungszone (28), die zum Induzieren der Gasreformierung in der Reformierungszone mit einem Katalysatormaterial (34) versehen ist.
2. Schachtofen nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen Einsatz, welcher durch die die Reformierungszone (28) begrenzende Wand (26, 36) getragen und mit dem Katalysatormaterial (34) versehen, bevorzugt imprägniert, ist.
3. Schachtofen nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Einsatz an der Wand (26, 36) lösbar angebracht ist.
4. Schachtofen nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Einsatz aus keramischem Werkstoff ist.
5. Schachtofen nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Katalysatormaterial (34) ein Nickelkatalysator ist.
6. Schachtofen nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die dem

- methanhaltigen Gas ausgesetzte Oberfläche des Katalysators (34) vergrößert ist.
7. Schachtofen nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Auslasseinrichtung zumindest einen mit der Reformierungszone (28) und der Reduktionszone (20) in Verbindung stehenden Durchgang (32) aufweist, der in einem Winkel ( $\psi$ ) von wenigstens etwa  $120^\circ$  zur Strömungsrichtung (A) der Oxide in der Reduktionszone angeordnet ist.
8. Schachtofen nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch einen Winkel ( $\psi$ ) zwischen etwa  $120^\circ$  und etwa  $150^\circ$ , insbesondere etwa  $135^\circ$ .
9. Schachtofen nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der im wesentlichen zylindrische die Reduktionszone (20) bestimmende Bereich (36) des Schachtes (12) zur Beförderung von Oxiden zur Übergangszone (22) über ein Auslassende (62) aus der Reduktionszone dient, der Schacht einen die Übergangszone bestimmenden, im wesentlichen sich vom Schacht weg in Strömungsrichtung (A) der Oxide in der Übergangszone verjüngenden Bereich (42) umfasst und der Durchmesser des Schachtes an dessen Auslassende geringer ist als der Einlassdurchmesser am Einlassende (44) des sich verjüngenden Bereiches, der zur Aufnahme von Oxiden aus der Reduktionszone dient.
10. Schachtofen nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Durchmesser des konischen Bereiches (42) bis zu einem Auslassdurchmesser an einem Auslassende (46) der Übergangszone (22) vermindert, wobei das Auslassende zur Beförderung von Oxiden zur Entnahmeezone (24) dient.
11. Schachtofen nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Auslassdurchmesser der Übergangszone (22) kleiner ist als der Innendurchmesser des Auslassendes (62) der Reduktionszone (20), bei welchem der Einlassbereich (44) der Übergangszone (22) und das Auslassende (62) der Reduktionszone (20) einem Sammelbereich (68) zur Ansammlung von Kühlgas begrenzen, wobei die Übergangszone (22) ein Mittel (50) zum Einführen von Kühlgas umfasst sowie einen mit dem Sammelbereich in Verbindung stehenden Kühlgasauslass (70).
12. Schachtofen nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der sich verjüngende Bereich (42) eine innere Wandfläche und eine Zentralachse (Z) aufweist und die innere Wandfläche zum Austragsende (46) hin in einem Winkel ( $\beta$ ) von zwischen etwa  $8^\circ$  bis etwa  $12^\circ$  zur Zentralachse nach innen geneigt ist.
13. Schachtofen nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Wand des Schachtes (12) an dessen Auslassende (62) als Übergang zu dem sich verjüngenden Bereich (42) eine ringartige Pultfläche (66) aufweist, die in einem Winkel ( $\alpha$ ) zur Zentralachse (Z) des sich verjüngenden Bereiches geneigt ist.
14. Schachtofen nach Anspruch 11 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (50) zur Einbringung des Kühlgases zumindest einen in der Übergangszone (22) angeordneten Hohlschaft oder Hohlstab (52) enthält und wenigstens einen Einlass (54) zum Einbringen des Kühlgases in den Hohlschaft, der zur Beförderung des Kühlgases zur Übergangszone hin mit zumindest einer Düse (58) für das Kühlgas versehen ist.
15. Schachtofen nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlgasdüse/n (58) auf einem stromabwärts in Strömungsrichtung (A) weisenden Abschnitt des Hohlschaftes (52) angeordnet ist/sind.
16. Schachtofen nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Hohlschäfte (52) innerhalb der Übergangszone (22) radial positioniert und an einem zentralen Nabenglied (56) zusammengefügt sind, wobei diese Hohlschäfte jeweils in einem Winkel von dem zentralen Nabenglied in Strömungsrichtung (A) der Oxide geneigt ausgerichtet sind.
17. Schachtofen nach einem der Ansprüche 1 bis 16, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Erwärmen der Vorwärm- und Vorreduktionszone (18) auf eine Temperatur zwischen etwa Umgebungstemperatur und etwa  $760^\circ\text{C}$ , und/oder zum Erwärmen der Reduktionszone (20) auf eine Temperatur zwischen etwa  $760^\circ\text{C}$  bis etwa  $960^\circ\text{C}$ .
18. Schachtofen nach einem der Ansprüche 1 bis 17, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Kühlen der Übergangszone (22) auf eine Temperatur von gleich oder kleiner etwa  $760^\circ\text{C}$ .

19. Schachtofen nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zum Kühlen der Übergangszone (22) zum Kühlen auf eine Temperatur von kleiner oder gleich 650°C, insbesondere von kleiner oder gleich etwa 55°C, ausgebildet ist.
- 5 20. Schachtofen nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorwärm- und Vorreduktionszone (18) eine Gasaustrittsöffnung (16) zur Abgabe von verbrauchtem Gas aus dem Schacht (12) aufweist.
- 10 21. Schachtofen nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Entnahmезone (24) wenigstens ein Magnetventil (48) zur Steuerung der Abgabe des reduzierten Produkts aus der Entnahmезone zugeordnet ist.

**HIEZU 2 BLATT ZEICHNUNGEN**

15

20

25

30

35

40

45

50

55

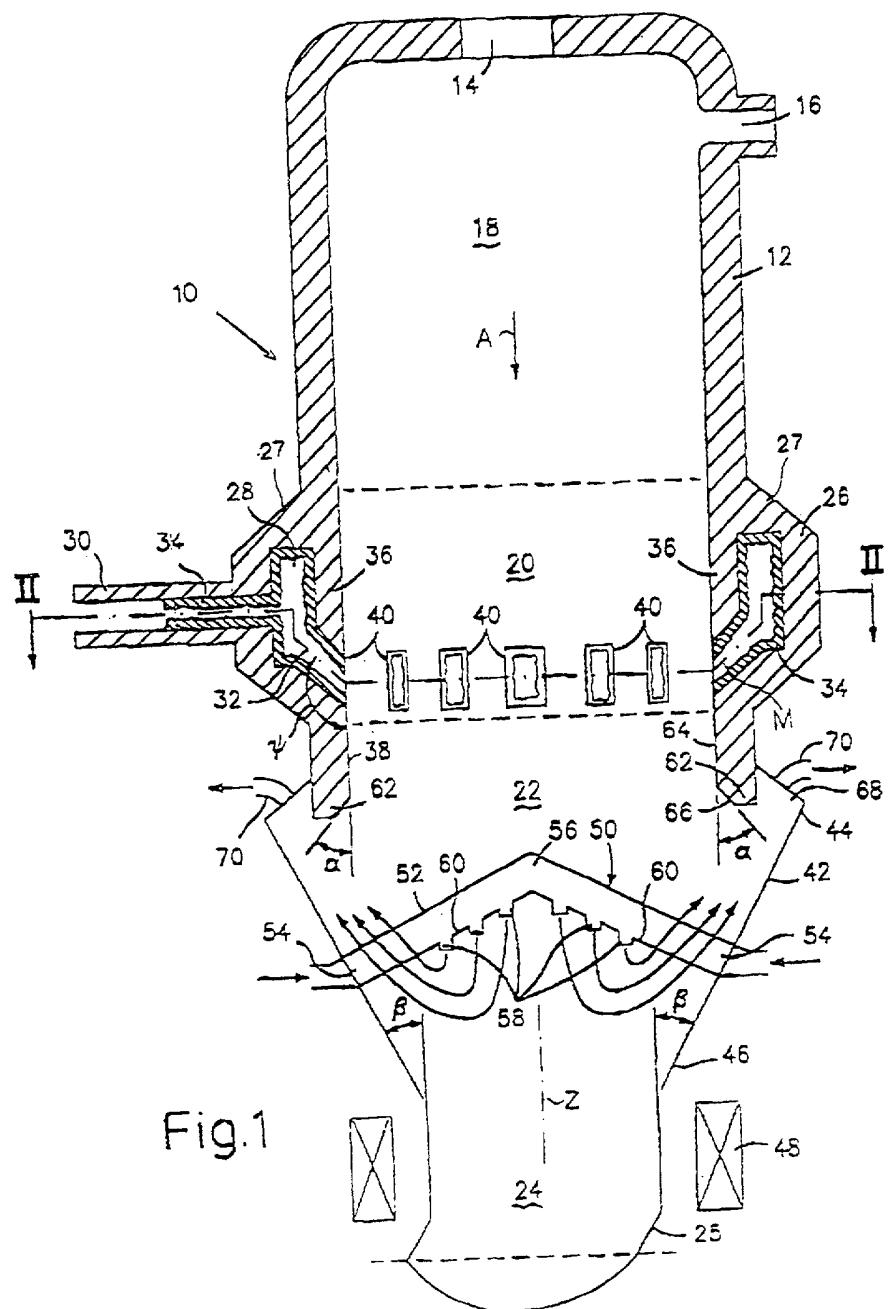


Fig.1

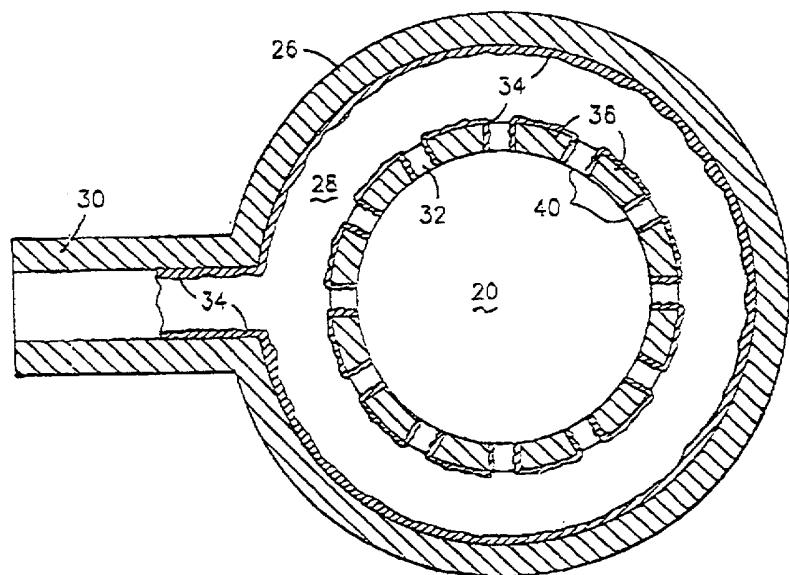


Fig. 2

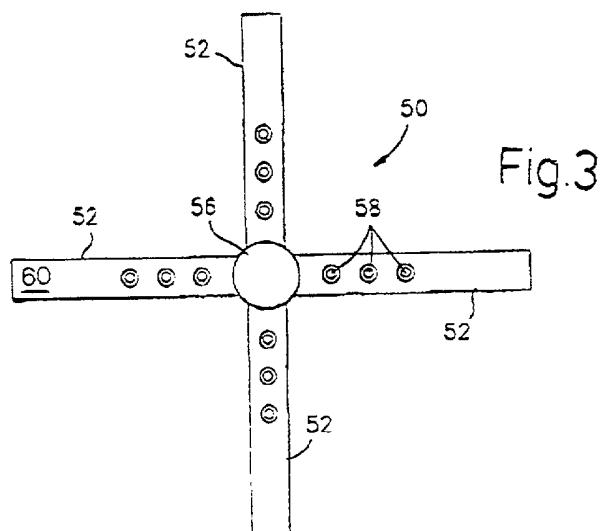


Fig. 3