



REPUBLIK  
ÖSTERREICH  
Patentamt

(10) Nummer: **AT 409 387 B**

# PATENT SCHRIFT

(12)

(21) Anmeldenummer: 1110/2000  
(22) Anmeldetag: 28.06.2000  
(42) Beginn der Patentedauer: 15.12.2001  
(45) Ausgabetag: 25.07.2002

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **C21B 13/14**

(56) Entgegenhaltungen:  
JP 58-34115A US 3985547A WO 97/13878A1

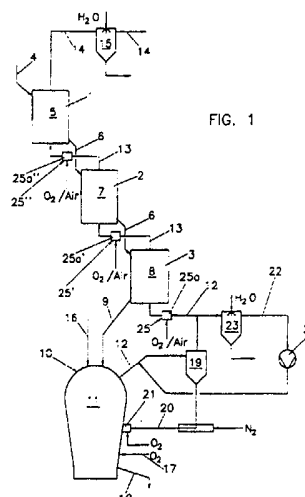
(73) Patentinhaber:  
VOEST-ALPINE INDUSTRIEANLAGENBAU GMBH  
& CO  
A-4020 LINZ, OBERÖSTERREICH (AT).  
POHANG IRON & STEEL CO., LTD.  
790-785 POHANG CITY (KR).  
RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL  
SCIENCE & TECHNOLOGY, INCORPORATED  
FOUNDATION  
POHANG CITY (KR).

(72) Erfinder:  
KEPPLINGER LEOPOLD WERNER DIPL.ING. DR.  
LEONDING, OBERÖSTERREICH (AT).  
HAUZENBERGER FRANZ DIPL.ING.  
LINZ, OBERÖSTERREICH (AT).  
SCHENK JOHANNES DIPL.ING. DR.  
LINZ, OBERÖSTERREICH (AT).  
JOO SANGHOON DR.  
POHANG CITY (KR).

(54) VERFAHREN UND ANLAGE ZUR GASREDUKTION VON TEILCHENFÖRMIGEN OXIDHÄLTIGEN ERZEN

AT 409 387 B

(57) Bei einem Verfahren zur Gasreduktion von teilchenförmigen oxidhaltigen Erzen, insbesondere von eisenoxidhaltigem Material, im Wirbelschichtverfahren bei einem Druck < 5 bar, wobei das Erz mit Hilfe eines aus Kohle erzeugten Reduktionsgases in einem als Vorwärmstufe (5) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (1) erhitzt, gegebenenfalls auch vorreduziert wird, anschließend in mindestens einem als Reduktionsstufe (7, 8) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (2, 3) zu Eisenschwamm reduziert wird, wobei das Reduktionsgas über eine Reduktionsgas-Zuleitung (12) bzw. Reduktionsgasleitung (13) in Gegenrichtung des von Stufe zu Stufe geleiteten zu reduzierenden Materials von der Reduktionsstufe (7, 8) zur Vorwärmstufe (5) geleitet wird und nach Reinigung als Exportgas abgezogen wird, wird dem der Reduktionsstufe (7, 8) und/oder Vorwärmstufe (5) zugeführten Reduktionsgas Wärme zugeführt, und zwar durch Verbrennung eines Teils des für die Gasreduktion in der Reduktionsstufe (7, 8) und/oder in der Vorwärmstufe (5) vorgesehenen Reduktionsgases zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gasreduktion von teilchenförmigen oxidhaltigen Erzen, insbesondere von eisenoxidhaltigem Material, im Wirbelschichtverfahren bei einem Druck  $\leq 5$  bar, wobei das Erz mit Hilfe eines aus Kohle erzeugten Reduktionsgases in einem als Vorwärmstufe ausgebildeten Wirbelschichtreaktor erhitzt, gegebenenfalls auch vorreduziert wird, anschließend in  
 5 mindestens einem als Reduktionsstufe ausgebildeten Wirbelschichtreaktor zu Eisenschwamm reduziert wird, wobei das Reduktionsgas über eine Reduktionsgas-Zuleitung bzw. Reduktionsgas-  
 leitung in Gegenrichtung des von Stufe zu Stufe geleiteten zu reduzierenden Materials von der Reduktionsstufe zur Vorwärmstufe geleitet wird und nach Reinigung als Exportgas abgezogen  
 wird, sowie eine Anlage zur Durchführung des Verfahrens.

10 Findet die Reduktion des teilchenförmigen oxidhaltigen Erzes in mehreren hintereinandergeschalteten Wirbelschichtreaktoren statt, wobei das Reduktionsgas im Gegenstrom zum Erz von einem Reaktor zum anderen geleitet wird, kommt es zu einer schrittweisen Erwärmung des Feststoffs bei gleichzeitiger Enthalpieabnahme des Reduktionsgases, teilweise bedingt auch durch die  
 15 ablaufenden Reaktionen bei der Reduktion. Dies kann unter Umständen in den einzelnen Reduktionsstufen für den Feststoff zu solch geringen Temperaturen führen, daß die Reaktion zwischen Reduktionsgas und oxidhaltigem Erz kinetisch und thermodynamisch behindert wird, d.h. die Reduktion des Erzes nicht bis zum gewünschten Grad während seines zeitlichen Aufenthalts im Reduktionsreaktor erfolgt.

Bei einem aus der AT 402 937 B bekannten Verfahren der eingangs genannten Art wird eisen-  
 20 oxidhaltiges Material in vier in Serie hintereinandergeschalteten Wirbelschicht-Reduktionszonen reduziert. Um in allen Wirbelschicht-Reduktionszonen eine etwa gleich hohe konstante Temperatur einzustellen, wird frisch gebildetes Reduktionsgas zum Teil den der in Reduktionsgas-Strömungs-  
 richtung ersten Wirbelschicht-Reduktionszone folgenden Wirbelschicht-Reduktionszonen zusätz-  
 25 lich zu dem die Wirbelschicht-Reduktionszonen in Serie durchströmenden Reduktionsgas direkt zugeführt, so daß die Wirbelschicht-Reduktionszonen hinsichtlich der Reduktionsgasführung so-  
 wohl in Serie als auch parallel geschaltet sind. Das zusätzlich zugeführte, frisch gebildete Redukti-  
 onsgas wird den einzelnen Wirbelschicht-Reduktionszonen hierbei vorzugsweise in einer Menge von 5 bis 15% zugeführt.

Nachteilig hierbei ist jedoch, daß die Vorreduktionsstufen bis zur Vorwärmstufe hin für immer  
 30 größer werdende Gasmengen ausgelegt sein müssen, da in jeder der Endreduktionsstufe folgen-  
 den Stufe zu dem die vorgeschaltete Stufe verlassenden Reduktionsgas zusätzliches frisches Reduktionsgas hinzukommt. Geht man weiters davon aus, daß in der Endreduktionszone eine  
 bestimmte Menge an Reduktionsgas zur vollständigen Reduktion des eingesetzten Materials  
 35 jedenfalls benötigt wird, unabhängig davon ob eine zusätzliche Parallelführung des Reduktionsga-  
 ses vorliegt oder nicht, ergibt sich bei einer Anordnung gemäß der AT 402 937 B insgesamt ein  
 höherer Reduktionsgasverbrauch.

In der WO 97/13880 A1 und der WO 97/13878 A1 ist ein Verfahren beschrieben, bei dem ein  
 Teil eines aus einer Endreduktionsstufe in eine Vorreduktionsstufe strömenden Reduktionsgases  
 40 abgezweigt, gewaschen, von  $\text{CO}_2$  gereinigt sowie aufgeheizt und anschließend in die Endreduk-  
 tionsstufe rückgeführt wird. In der Vorwärmstufe wird Sauerstoff mit einem Teil des in diese Stufe  
 eingeleiteten Reduktionsgases zur Erhöhung seiner Temperatur verbrannt.

Gemäß der WO 97/13880 A1 und der WO 97/13878 A1 werden nur die Temperaturen in den  
 der Endreduktionsstufe und der Vorwärmstufe zugeordneten Wirbelschichtreaktoren über eine  
 45 Gasrückführung bzw. Teilverbrennung gesteuert. Die zwischen diesen beiden Stufen liegenden  
 Reaktoren sind dagegen von den Bedingungen im Endreduktions-Wirbelschichtreaktor abhängig.

Aus der JP 58-34114 A ist ein Verfahren zur Reduktion von feinkörnigem Eisenerz bekannt, bei  
 dem das Reduktionsgas für die Endreduktionsstufe durch Zersetzung und Reformierung von Koh-  
 lenwasserstoffmittels des aus der Endreduktionszone abgezogenen oxidierenden Abgases erzeugt  
 wird, wobei das Eisenerz in einer ersten Stufe durch aus dem Kohlenwasserstoff abgeschiedenen  
 50 Kohlenstoff vorreduziert wird. Zur Bereitstellung der für die Erzeugung des Reduktionsgases benö-  
 tigten Energie wird das oxidierende Abgas erhitzt, bevor es mit dem Kohlenwasserstoff in Kontakt  
 gebracht wird.

In der US 3,985,547 A ist ein Verfahren zur Eisenerzreduktion in einem Mehrfachwirbelbettre-  
 55 aktor beschrieben, bei dem frisches Reduktionsgas durch unterstöchiometrische Verbrennung von  
 Methan und Sauerstoff in einem dem Reaktor zugeordneten Brenner erzeugt wird, der mit seiner

Auslassöffnung zwischen dem untersten und dem darüber gelegenen Wirbelbett angeordnet ist. Das aus dem obersten Wirbelbett austretende verbrauchte Reduktionsgas wird gereinigt, von Wasser und  $\text{CO}_2$  befreit und im erhitzten Zustand dem untersten Wirbelbett als Recycling-Reduktionsgas zugeführt.

5 Die Erfindung stellt sich die Aufgabe, bei einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art eine Möglichkeit zur unabhängigen Temperaturerhöhung in den einzelnen Reduktionsstufen zu schaffen, ohne daß die Menge an Reduktionsgas wesentlich erhöht werden muß oder eine vergrößerte Dimensionierung von Anlageteilen notwendig ist. Ziel ist die Einstellung der Temperatur in jeder einzelnen Wirbelschicht-Reduktionsstufe und die Einstellung eines optimalen Feststoff-/Gastemperaturprofils sowie Gasqualitätsprofils über den Wirbelschichtstufen.

10 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß dem der Reduktionsstufe und/oder Vorwärmstufe zugeführten Reduktionsgas Wärme zugeführt wird, und zwar durch Verbrennung eines Teils des für die Gasreduktion in der Reduktionsstufe und/oder in der Vorwärmstufe vorgesehenen Reduktionsgases zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft. Die Teilverbrennung des Reduktionsgases stellt die effizienteste Enthalpiezufuhr dar und bietet zudem den Vorteil, daß 15 keine wesentliche Erhöhung der Gasmenge erforderlich ist.

Weiters wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß durch Verbrennung eines Teils des Exportgases zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft dem Reduktionsgas Wärme zugeführt wird.

20 Eine weitere Möglichkeit zur Lösung der erfindungsgemäßen Aufgabe besteht darin, daß ein Teil des zur Kühlung des in die Endreduktionszone einzuleitenden Reduktionsgases verwendeten Kühlgases zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft verbrannt wird, wodurch dem der Reduktionsstufe bzw. Vorwärmstufe zugeführten Reduktionsgas Wärme zugeführt wird.

Eine Sauerstoffzugabe zum Reduktionsgas ermöglicht eine individuelle Energieverteilung zu den einzelnen Reaktoren, so daß zum Beispiel bei drei Wirbelschichtreaktoren die Eintrittstemperatur des Reduktionsgases bei Sauerstoff-/Luftzugabe zu allen drei Reaktoren wie folgt aussehen 25 könnte:  $920^\circ\text{C}$  (1.Reaktor)/ $890^\circ\text{C}$  (2.Reaktor)/ $900^\circ\text{C}$  (3.Reaktor). Würde eine Sauerstoff-/Luftzugabe nur vor dem der Vorwärmstufe (3.Reaktor) und der Endreduktionsstufe (1.Reaktor) zugeordneten Wirbelschichtreaktor erfolgen, müßten sich die Eintrittstemperaturen, um das gleiche Reduktionsergebnis zu erzielen, auf  $920^\circ\text{C}$ /750°C/1140°C ändern, was zu einer erhöhten thermischen Belastung des Reaktors 3 und des in Reaktor 3 chargierten Erzes führen würde. Dieses Problem wird 30 durch ein erfindungsgemäßes Verfahren vermieden.

Durch Erhöhung der Reduktionsgastemperatur gemäß der Erfindung werden Autoreforming-Reaktionen in der Gasphase thermodynamisch sowie kinetisch bevorzugt, wobei gegebenenfalls der im Reduktionsgas vorhandene Staub als Katalysator wirkt. Bei diesen Autoreforming-Reaktionen 35 kommt es zu einer Umsetzung von Methan mit Kohlendioxid bzw. Wasserdampf zu Kohlenmonoxid bzw. Wasserstoff. Aufgrund dieser in-situ-Generierung reduzierender Bestandteile wird die Reduktionsgasanalyse und somit auch thermodynamisch die Erzreduktion verbessert.

Vorzugsweise wird der zu verbrennende Teil des Reduktionsgases, des Exportgases oder des Kühlgases vor der Verbrennung einem Waschvorgang unterzogen, wodurch durch Verbrennung 40 von staubbeladenen Gasen entstehende lokal sehr hohe Temperaturen, die zu einem Schmelzen des Staubes durch Boudouard-Reaktion führen können, vermieden werden.

Der zur Verbrennung des Reduktionsgases notwendige Sauerstoff bzw. die Luft wird vorteilhaft über Lanzen, die gleichzeitig als Brenner fungieren, in die Reduktionsgas-Zuleitung bzw. Reduktionsgasleitung, die das Reduktionsgas in die erste bzw. von einer Wirbelschicht-Reduktionszone in 45 die nachgeschaltete Reduktionszone transportiert, zugeführt. Durch diese Anordnung wird der apparative Aufwand sehr gering gehalten.

Eine andere Möglichkeit zur Einstellung der Temperatur in den Reduktionswirbelschichtstufen besteht darin, daß dem Reduktionsgas durch Verbrennung von externem Brenngas und/oder festen und/oder flüssigen Brennstoffen zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft Wärme zugeführt 50 wird.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Verbrennung der Brenngase oder der festen und/oder flüssigen Brennstoffe in einem in der Reduktionsgas-Zuleitung bzw. Reduktionsgasleitung vorgesehenen Brenner. Zweckmäßig kann die Leitung in diesem Bereich eine Verdickung aufweisen.

55 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Verbrennung von Brenngas

oder festem und/oder flüssigem Brennstoff in einer von der Reduktionsgas-Zuleitung bzw. Reduktionsgasleitung separaten Brennkammer, wobei die Verbrennungsgase und gegebenenfalls nicht verbrannte Feststoffe anschließend in die Reduktionsgas-Zuleitung bzw. Reduktionsgasleitung eingeleitet werden. Dadurch werden möglicherweise auftretende heiße Flammenfronten ver-  
 5 mäßigt, bevor sie mit staubbeladenem Reduktionsgas in Kontakt kommen und ebenfalls ein An-  
 schmelzen des Staubes in den Leitungen verursachen.

Vorteilhaft wird Brenngas oder fester und/oder flüssiger Brennstoff zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft mittels eines Brenners verbrannt, der in mindestens einem der Reduktions-Wirbel-  
 10 schichtreaktoren vorgesehen ist. Hierbei werden die Verbrennungsgase direkt in den Wirbel-  
 schichtreaktor eingeleitet.

Hierbei kann der Brenner zweckmäßig entweder unterhalb des im Wirbelschichtreaktor gebil-  
 deten Wirbelbetts, in Höhe des Wirbelbetts oder oberhalb desselben angeordnet sein, wodurch  
 dem Reduktionsgas die Wärme äußerst gezielt und besonders effizient zugeführt werden kann.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden für  
 15 die Verbrennung Reduktionsgas und/oder Exportgas und/oder Kühlgas und/oder externes Brenn-  
 gas und/oder fester und/oder flüssiger und/oder gasförmiger Brennstoff auf Kohlenwasserstoffbasis  
 eingesetzt. Diese Ausführungsform erweist sich als besonders vorteilhaft, wenn irgendein Brenn-  
 stoff aus der oben angeführten Gruppe im Überfluß vorhanden ist oder Reduktionsgas, Exportgas  
 bzw. Kühlgas zum überwiegenden Teil für andere Zwecke benötigt wird und dadurch nicht in  
 20 ausreichender Menge zur Verfügung steht.

Dem der Reduktionsstufe und/oder Vorwärmstufe zugeführten Reduktionsgas wird vorteilhaft  
 ein durch zumindest teilweises Umsetzen mit dem Reduktionsgas den Reduktandenanteil des  
 Reduktionsgases erhöhender Stoff, insbesondere Erdgas und/oder Kohle, zugemischt. Hierdurch  
 wird das den Reduktionsprozeß behindernde Phänomen des "sticking" vermieden. Die Ursache  
 25 dafür sind gerichtete, nadelige Eisenausscheidungen an der Oberfläche der Feinerzpartikel, die bei  
 höheren Temperaturen und niedrigem Reduktionspotential entstehen. Die Umsetzung der Stoffe  
 kann auch in einem Brenner erfolgen.

Die Zuführung zusätzlicher Brennstoffe ermöglicht eine positive Beeinflussung der Tempera-  
 tureinstellung, des Oxidationsgrades des Reduktionsgases und gegebenenfalls eine Erhöhung der  
 30 Gesamtgasmenge.

Weiters sieht die Erfindung ein Verfahren vor, bei welchem dem der Reduktionsstufe und/oder  
 Vorwärmstufe zugeführten Reduktionsgas ein durch zumindest teilweises Umsetzen mit dem  
 Reduktionsgas den Reduktandenanteil des Reduktionsgases erhöhender Stoff, insbesondere  
 Erdgas und/oder Kohle, zugemischt wird, wobei keine Verbrennung stattfindet.

Die Vorteile dieses Verfahrens liegen in der oben erwähnten Vermeidung des "sticking".

Die Erfindung ist nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert, wobei die Fig. 1 bis 3 so-  
 wie 9 je eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens im Blockschema, die Fig. 4  
 und 5 jeweils eine bevorzugte Ausführungsform der in Fig. 2 bzw. 3 dargestellten Verfahren im  
 Blockschema und die Fig. 6 bis 8 ein vergrößertes Detail einer bevorzugten Ausführungsform in  
 40 schematischer Darstellung zeigen.

Fig. 1 zeigt drei in Serie hintereinandergeschaltete Wirbelschichtreaktoren 1 bis 3, wobei  
 eisenoxidhaltiges Material, wie Feinerz, über eine Erzzuleitung 4 dem ersten Wirbelschichtreaktor  
 1, in dem in einer Vorwärmstufe 5 eine Vorerwärmung des Feinerzes und eventuell eine Vorreduk-  
 tion stattfindet, zugeleitet und anschließend von Wirbelschichtreaktor 1 zu Wirbelschichtreaktor 2, 3  
 45 über Förderleitungen 6 geleitet wird. Im Wirbelschichtreaktor 2 erfolgt in einer Vorreduktionsstufe 7  
 eine Vorreduktion und im Wirbelschichtreaktor 3 in einer Endreduktionsstufe 8 eine Endreduktion  
 des Feinerzes zu Eisenschwamm.

Das fertig reduzierte Material, also der Eisenschwamm, wird über eine Förderleitung 9 in einen  
 Einschmelzvergaser 10 geleitet. Im Einschmelzvergaser 10 wird in einer Einschmelzvergasungs-  
 50 zone 11 aus Kohle und sauerstoffhaltigem Gas ein CO- und H<sub>2</sub>-haltiges Reduktionsgas erzeugt,  
 das über die Reduktionsgas-Zuleitung 12 in den in Fließrichtung des Feinerzes letztangeordneten  
 Wirbelschichtreaktor 3 eingeleitet wird. Das Wirbelschichtverfahren wird bei einem Druck von  
 ≤ 5 bar durchgeführt. Das Reduktionsgas wird im Gegenstrom zum Erzdurchfluß von Wirbel-  
 schichtreaktor 3 zu Wirbelschichtreaktor 2 bis 1 geführt, und zwar über die Reduktionsgasleitungen  
 55 13, aus dem Wirbelschichtreaktor 1 als Exportgas über eine Exportgas-Ableitung 14 abgeleitet und

anschließend in einem Naßwäscher 15 gekühlt und gewaschen.

Der Einschmelzvergaser 10 weist eine Zuführung 16 für feste Kohlenstoffträger, eine Zuführung 17 für sauerstoffhaltige Gase sowie gegebenenfalls Zuführungen für bei Raumtemperatur flüssige oder gasförmige Kohlenstoffträger, wie Kohlenwasserstoffe, sowie für gebrannte Zuschläge auf. Im Einschmelzvergaser 10 sammeln sich unterhalb der Einschmelzvergasungszone 11 schmelzflüssiges Roheisen bzw. schmelzflüssiges Stahlvormaterial und schmelzflüssige Schlacke, die über einen Abstich 18 abgestochen werden.

In der Reduktionsgas-Zuleitung 12, die vom Einschmelzvergaser 10 ausgeht und in den Wirbelschichtreaktor 3 mündet, ist eine Entstaubungseinrichtung 19, wie ein Heißgaszyklon, vorgesehen, wobei die in diesem Zyklon abgeschiedenen Staubteile dem Einschmelzvergaser 10 über die Rückleitung 20 mit Stickstoff als Fördermittel und über einen Brenner 21 unter Einblasen von Sauerstoff zugeführt werden.

Von der Reduktionsgas-Zuleitung 12 geht eine Gasrückführleitung 22 aus, die einen Teil des Reduktionsgases über einen Wäscher 23 und einen Verdichter 24 wiederum in die Reduktionsgas-Zuleitung 12 zurückführt, und zwar vor der Anordnung des Heißgaszyklons 19, wodurch eine Einstellung der Reduktionsgastemperatur ermöglicht wird.

In der Reduktionsgasleitung 13 bzw. in der Reduktionsgas-Zuleitung 12 sind jeweils in Gasströmungsrichtung vor den Wirbelschichtreaktoren 1 bis 3 Brenner 25, 25' und 25" vorgesehen, denen für die Teilverbrennung des Reduktionsgases Sauerstoff und/oder Luft zugeführt wird, wobei die Brenner von einer Einspeisung für Brenngas und Sauerstoff und/oder Luft sowie einer Brennkammer 25a, 25'a und 25"a gebildet werden. Diese Brenner 25, 25' und 25" können auch als Sauerstoff und/oder Luft zuführende Lanzen ausgebildet sein, wobei ein Teil der Reduktionsgasleitung als Brennkammer des Brenners 25 fungiert. Zum Zweck der Sauerstoffzuführung kann auch ein sauerstoffhaltiges Gas verwendet werden. Durch die Menge an zugeführtem Sauerstoff und/oder zugeführter Luft kann die Verbrennung und damit die Temperatur des Reduktionsgases individuell nach den Erfordernissen der Reduktionsstufen bzw. der Vorwärmstufe gesteuert werden, wodurch für die Reduktion thermodynamisch günstige Voraussetzungen geschaffen und Autoreforming-Reaktionen begünstigt werden sowie die thermische Belastung je Wirbelschichtreaktor verringert wird.

Gemäß der in Fig. 2 dargestellten Verfahrensvariante zweigt von der Exportgas-Ableitung 14 nach dem Naßwäscher 15 eine Exportgasleitung 26 ab, die einen Teil des gereinigten Exportgases über einen Verdichter 27 den in den Reduktionsgasleitungen 13 und der Reduktionsgas-Zuleitung 12 vorgesehenen Brennern 25, 25' und 25" parallel zuführt, so daß es dort zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft verbrennt und somit dem Reduktionsgas die erforderliche Wärme liefert.

Das in Fig. 3 dargestellte erfindungsgemäße Verfahren unterscheidet sich von der in Fig. 1 dargestellten Verfahrensvariante dadurch, daß die Zuführung von Wärme zum Reduktionsgas durch Verbrennung eines Teils des Kühlgases zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft und nicht durch Verbrennung von den Wirbelschichtreaktoren zugeführtem Reduktionsgas erfolgt. Zu diesem Zweck zweigt eine Kühlgasleitung 28 von der Gasrückführleitung 22 nach dem Wäscher 23 ab, die einen Teil des Kühlgases über einen Verdichter 29 parallel zu den Brennern 25, 25' und 25" transportiert.

Fig. 4 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform der in Fig. 2 dargestellten Verfahrensvariante. Hierbei mündet die Exportgasleitung 26 in den von den Brennkammern 25a, 25'a und 25"a gebildeten Brennern 25, 25' und 25", die im Gegensatz zur Darstellung in Fig. 2 nicht in den Reduktionsgasleitungen 13 bzw. der Reduktionsgas-Zuleitung 12 integriert sind.

In Fig. 5 ist die zu Fig. 4 analoge Ausführungsform des in Fig. 3 dargestellten Verfahrens veranschaulicht. Der zur Verbrennung bestimmte Teil des Kühlgases wird zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft in separaten Brennkammern 25a, 25'a und 25"a, die die Brenner 25, 25' und 25" bilden, verbrannt und danach in die Reduktionsgasleitungen 13 bzw. die Reduktionsgas-Zuführung 12 eingeleitet.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Verbrennung des verwendeten Brenngases (Reduktionsgas, Exportgas oder Kühlgas) zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft mittels eines einem Wirbelschichtreaktor zugeordneten Brenners.

Der in Fig. 6 schematisch dargestellte Wirbelschichtreaktor 30 zeigt einen in drei Zonen gegliederten Innenraum 31, zu dem unten eine Gaszuführungsleitung 32 hin- und am oberen Ende eine

Abgasleitung 33 wegführt. Die unterste Zone 34 ist von der mittleren Zone 35 durch den Verteilerboden 37 getrennt, der das durch den Innenraum 31 des Wirbelschichtreaktors 30 von unten nach oben strömende Reduktionsgas über den ganzen Querschnitt des Wirbelschichtreaktors 30 gleichmäßig verteilt und dadurch ein einheitliches Wirbelbett aus Feinerzteilchen erzeugt. Die Grenze zwischen der vom Wirbelbett gebildeten mittleren Zone 35 und der obersten Zone 36, dem sogenannten Freeboard, ist weniger scharf als bei den beiden unteren Zonen. Im Freeboard findet eine Beruhigung des Gasraums statt, wodurch bewirkt wird, daß der Austrag von Erzteilchen aus dem Wirbelschichtreaktor 30 minimiert wird. In der untersten Zone 34 unterhalb des Verteilerbodens 37 ist ein Brenner 38 angeordnet, zu dem eine nicht dargestellte Sauerstoff- und/oder Luftleitung sowie eine Leitung für Reduktionsgas, Exportgas, Kühlgas, externes Brenngas und/oder feste und/oder flüssige Brennstoffe führen. Die heißen Verbrennungsgase führen dem in den Wirbelschichtreaktor 30 strömenden Reduktionsgas Wärme zu bzw. führen zu Autoreforming-Reaktionen. Vorteilhaft können dem Reduktionsgas über den Brenner 38 auch den Reduktandenanteil des Reduktionsgases erhöhende Stoffe, wie Erdgas und/oder Kohle, zugemischt werden.

Bei der in Fig. 7 dargestellten Ausführungsform ist der Brenner 38 in der mittleren Zone 35, im Wirbelbett, angeordnet. Diese Ausführungsform ist besonders dann vorteilhaft, wenn das Reduktionsgas besonders staubbeladen ist, da hierbei keine Gefahr besteht, daß der Verteilerboden 37 durch anschmelzenden Staub verlegt wird.

Fig. 8 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform, bei welcher der Brenner 38 oberhalb des Wirbelbetts 35, d.h. im Freeboard 36, angeordnet ist.

Die in Fig. 9 veranschaulichte Verfahrensvariante weist im wesentlichen alle Merkmale der in Fig. 2 dargestellten Anlage auf. Im Unterschied zu Fig. 2 wird den in den Reduktionsgasleitungen 13 und der Reduktionsgas-Zuleitung 12 vorgesehenen Brennern 25, 25' und 25" jedoch kein Exportgas über die Leitung 26 und den Verdichter 27 zugeführt, sondern externes Brenngas und/oder fester und/oder flüssiger Brennstoff, das bzw. der mittels einer Leitung 39 zu den Brennern 25, 25' und 25" transportiert wird.

Die Erfindung beschränkt sich nicht auf die in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele, sondern kann in verschiedener Hinsicht modifiziert werden.

Beispielsweise ist es möglich, die Anzahl der Wirbelschichtreaktoren je nach den Erfordernissen zu wählen. Ebenso kann das Reduktionsgas nach verschiedenen bekannten Methoden erzeugt werden.

#### PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Gasreduktion von teilchenförmigen oxidhaltigen Erzen, insbesondere von eisenoxidhaltigem Material, im Wirbelschichtverfahren bei einem Druck  $< 5$  bar, wobei das Erz mit Hilfe eines aus Kohle erzeugten Reduktionsgases in einem als Vorwärmstufe (5) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (1) erhitzt, gegebenenfalls auch vorreduziert wird, anschließend in mindestens einem als Reduktionsstufe (7, 8) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (2, 3) zu Eisenschwamm reduziert wird und das Reduktionsgas über eine Reduktionsgas-Zuleitung (12) bzw. Reduktionsgasleitung (13) in Gegenrichtung des von Stufe zu Stufe geleiteten zu reduzierenden Materials von der Reduktionsstufe (7, 8) zur Vorwärmstufe (5) geleitet wird und nach Reinigung als Exportgas abgezogen wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem der Reduktionsstufe (7, 8) und/oder Vorwärmstufe (5) zugeführten Reduktionsgas Wärme zugeführt wird, und zwar durch Verbrennung eines Teils des für die Gasreduktion in der Reduktionsstufe (7, 8) und/oder in der Vorwärmstufe (5) vorgesehenen Reduktionsgases zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft. (Fig. 1)
2. Verfahren zur Gasreduktion von teilchenförmigen oxidhaltigen Erzen, insbesondere von eisenoxidhaltigem Material, im Wirbelschichtverfahren bei einem Druck  $< 5$  bar, wobei das Erz mit Hilfe eines aus Kohle erzeugten Reduktionsgases in einem als Vorwärmstufe (5) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (1) erhitzt, gegebenenfalls auch vorreduziert wird, anschließend in mindestens einem als Reduktionsstufe (7, 8) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (2, 3) zu Eisenschwamm reduziert wird und das Reduktionsgas über eine Reduktionsgas-Zuleitung (12) bzw. Reduktionsgasleitung (13) in Gegenrichtung des von Stufe zu

- Stufe geleiteten zu reduzierenden Materials von der Reduktionsstufe (7, 8) zur Vorwärmstufe (5) geleitet wird und nach Reinigung als Exportgas abgezogen wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem der Reduktionsstufe (7, 8) und/oder Vorwärmstufe (5) zugeführten Reduktionsgas Wärme zugeführt wird, und zwar durch Verbrennung eines Teils des Exportgases zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft. (Fig. 2, 4)
3. Verfahren zur Gasreduktion von teilchenförmigen oxidhaltigen Erzen, insbesondere von eisenoxidhaltigem Material, im Wirbelschichtverfahren bei einem Druck  $< 5$  bar, wobei das Erz mit Hilfe eines aus Kohle erzeugten Reduktionsgases in einem als Vorwärmstufe (5) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (1) erhitzt, gegebenenfalls auch vorreduziert wird, anschließend in mindestens einem als Reduktionsstufe (7, 8) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (2, 3) zu Eisenschwamm reduziert wird und das Reduktionsgas über eine Reduktionsgas-Zuleitung (12) bzw. Reduktionsgasleitung (13) in Gegenrichtung des von Stufe zu Stufe geleiteten zu reduzierenden Materials von der Reduktionsstufe (7, 8) zur Vorwärmstufe (5) geleitet wird und nach Reinigung als Exportgas abgezogen wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem der Reduktionsstufe (7, 8) und/oder Vorwärmstufe (5) zugeführten Reduktionsgas Wärme zugeführt wird, und zwar durch Verbrennung eines Teils des zur Kühlung des in die Endreduktionszone (8) einzuleitenden Reduktionsgases verwendeten Kühlgases zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft. (Fig. 3, 5)
  4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der zu verbrennende Teil des Reduktionsgases, des Exportgases oder des Kühlgases vor der Verbrennung einem Waschvorgang unterzogen wird.
  5. Verfahren zur Gasreduktion von teilchenförmigen oxidhaltigen Erzen, insbesondere von eisenoxidhaltigem Material, im Wirbelschichtverfahren bei einem Druck  $< 5$  bar, wobei das Erz mit Hilfe eines aus Kohle erzeugten Reduktionsgases in einem als Vorwärmstufe (5) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (1) erhitzt, gegebenenfalls auch vorreduziert wird, anschließend in mindestens einem als Reduktionsstufe (7, 8) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (2, 3) zu Eisenschwamm reduziert wird und das Reduktionsgas über eine Reduktionsgas-Zuleitung (12) bzw. Reduktionsgasleitung (13) in Gegenrichtung des von Stufe zu Stufe geleiteten zu reduzierenden Materials von der Reduktionsstufe (7, 8) zur Vorwärmstufe (5) geleitet wird und nach Reinigung als Exportgas abgezogen wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem der Reduktionsstufe (7, 8) und/oder Vorwärmstufe (5) zugeführten Reduktionsgas Wärme zugeführt wird, und zwar durch Verbrennung von externem Brenngas und/oder festem und/oder flüssigem Brennstoff zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft. (Fig. 9)
  6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbrennung in einem in der Reduktionsgas-Zuleitung (12) bzw. Reduktionsgasleitung (13) vorgesehenen Brenner (25) durchgeführt wird. (Fig. 1, 2, 3, 9)
  7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbrennung in einer von der Reduktionsgas-Zuleitung (12) bzw. Reduktionsgasleitung (13) separaten Brennkammer durchgeführt wird, wobei die Verbrennungsgase und gegebenenfalls nicht verbrannte Feststoffe anschließend in die Reduktionsgas-Zuleitung (12) bzw. Reduktionsgasleitung (13) eingeleitet werden. (Fig. 4, 5)
  8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbrennung mittels mindestens eines dem Wirbelschichtreaktor (30) zugeordneten Brenners (38) durchgeführt wird, wobei die Verbrennungsgase direkt in den Wirbelschichtreaktor (30) eingeleitet werden. (Fig. 6 bis 8)
  9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Sauerstoff und/oder Luft über Lanzen in die Reduktionsgas-Zuleitung (12) bzw. Reduktionsgasleitung (13) zugeführt wird.
  10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß in Ergänzung des jeweils verwendeten Gases für die Verbrennung weiters Reduktionsgas und/oder Exportgas und/oder Kühlgas und/oder externes Brenngas und/oder fester und/oder flüssiger und/oder gasförmiger Brennstoff auf Kohlenwasserstoffbasis eingesetzt wird.
  11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß dem der Reduktionsstufe (7, 8) und/oder Vorwärmstufe (5) zugeführten Reduktionsgas ein durch

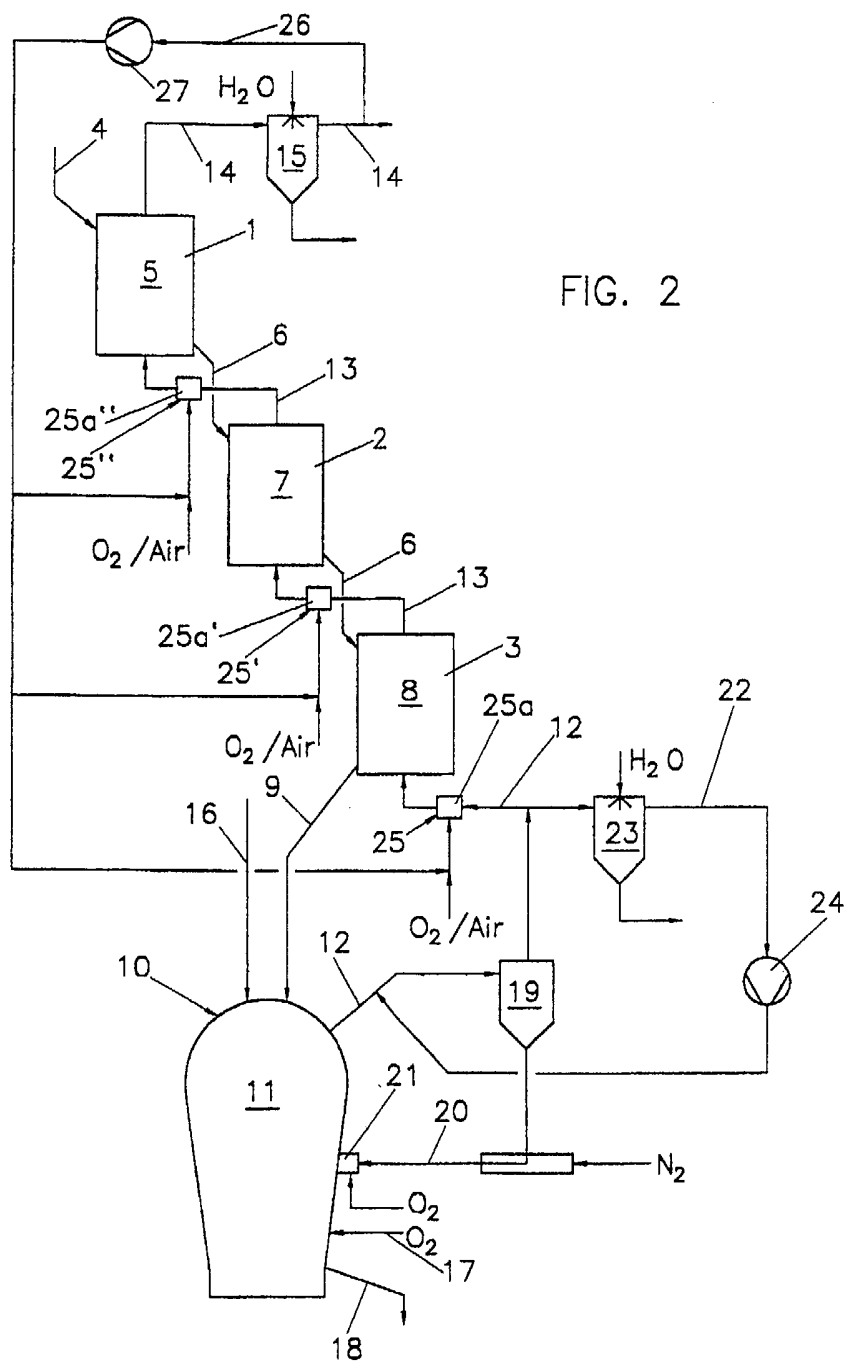
zumindest teilweises Umsetzen mit dem Reduktionsgas den Reduktandenanteil des Reduktionsgases erhöhender Stoff, insbesondere Erdgas und/oder Kohle, zugemischt wird.

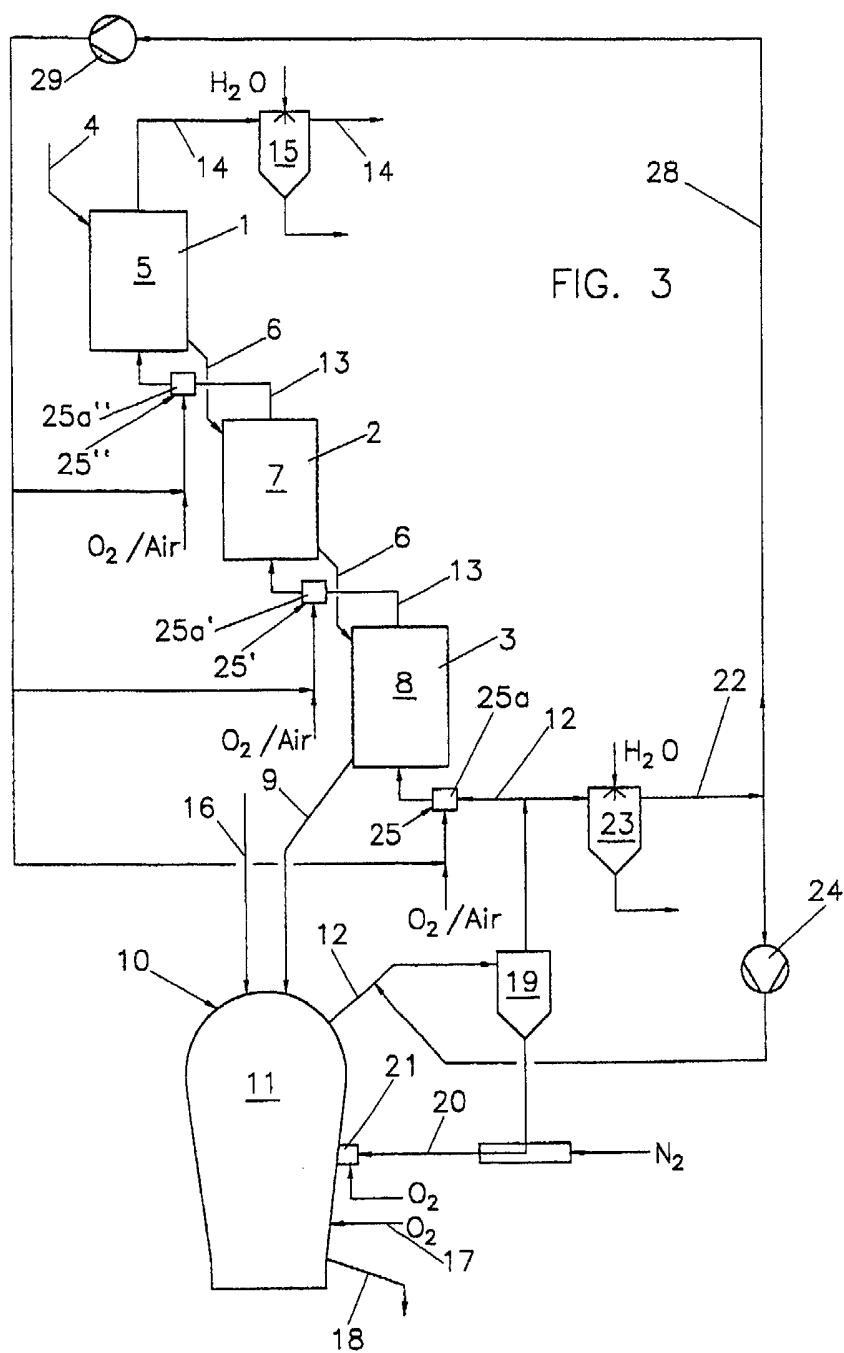
12. Verfahren zur Gasreduktion von teilchenförmigen oxidhaltigen Erzen, insbesondere von eisenoxidhaltigem Material, im Wirbelschichtverfahren bei einem Druck  $< 5$  bar, wobei das Erz mit Hilfe eines aus Kohle erzeugten Reduktionsgases in einem als Vorwärmstufe (5) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (1) erhitzt, gegebenenfalls auch vorreduziert wird, anschließend in mindestens einem als Reduktionsstufe (7, 8) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (2, 3) zu Eisenschwamm reduziert wird und das Reduktionsgas über eine Reduktionsgas-Zuleitung (12) bzw. Reduktionsgasleitung (13) in Gegenrichtung des von Stufe zu Stufe geleiteten zu reduzierenden Materials von der Reduktionsstufe (7, 8) zur Vorwärmstufe (5) geleitet wird und nach Reinigung als Exportgas abgezogen wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem der Reduktionsstufe (7, 8) und/oder Vorwärmstufe (5) zugeführten Reduktionsgas ein durch zumindest teilweises Umsetzen mit dem Reduktionsgas den Reduktandenanteil des Reduktionsgases erhöhender Stoff, insbesondere Erdgas und/oder Kohle, zugemischt wird.
13. Anlage zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12, mit mindestens zwei in Serie hintereinandergeschalteten Wirbelschichtreaktoren zur Gasreduktion von teilchenförmigen oxidhaltigen Erzen mittels eines aus Kohle erzeugten CO- und H<sub>2</sub>-haltigen Reduktionsgases, mit einer Reduktionsgas-Zuleitung (12) zu dem in Fließrichtung des oxidhaltigen Materials gesehenen letzten Wirbelschichtreaktor (3), einer verbrauchtes Reduktionsgas als Exportgas abführenden Ableitung (14) aus dem in Fließrichtung des oxidhaltigen Materials gesehenen ersten Wirbelschichtreaktor (1), einer von der Reduktionsgas-Zuleitung (12) abzweigenden Gasrückführleitung (22) für Kühlgas, die über einen Wäscher (23) wieder in der Reduktionsgas-Zuleitung (12) mündet, und mit einer zur Führung des Reduktionsgases von einem Wirbelschichtreaktor (3) in den diesem vorgeschalteten Wirbelschichtreaktor (1, 2) vorgesehenen Reduktionsgasleitung (13), dadurch gekennzeichnet, daß die Anlage leitungsmäßig mit mindestens einem Brenner (25, 38) mit einer Zuleitung (12, 13, 26, 28, 39) für Reduktionsgas und/oder Exportgas und/oder Kühlgas und/oder externem Brenngas und/oder festen und/oder flüssigen Brennstoff zur Verbrennung eines Teils des Reduktionsgases, des Exportgases oder des Kühlgases, von externem Brenngas oder festem oder flüssigem Brennstoff zusammen mit über eine Zuleitung zugeführtem Sauerstoff und/oder Luft verbunden ist.
14. Anlage nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß in der Exportgas-Ableitung (14) ein Wäscher (15) vorgesehen ist und gewaschenes Exportgas über eine Exportgasleitung (26) dem Brenner (25) zuführbar ist. (Fig. 2, 4)
15. Anlage nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Brenner (25) mit seiner Brennkammer (25a) direkt in der Reduktionsgas-Zuleitung (12) bzw. der Reduktionsgasleitung (13) vorgesehen ist. (Fig. 1 bis 3, 9)
16. Anlage nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Brenner (25) als Sauerstoff- und/oder Luftlanze ausgebildet ist.
17. Anlage nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Brenner (25) eine von der Reduktionsgas-Zuleitung (12) bzw. Reduktionsgasleitung (13) separate Brennkammer (25a) aufweist, die leitungsmäßig mit der Reduktionsgas-Zuleitung (12) bzw. Reduktionsgasleitung (13) verbunden ist. (Fig. 4, 5)
18. Anlage nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Brenner (38) in einem Wirbelschichtreaktor (30) angeordnet ist, und zwar entweder unterhalb des Wirbelbetts (35), in Höhe des Wirbelbetts (35) oder oberhalb des Wirbelbetts (35). (Fig. 6 bis 8)

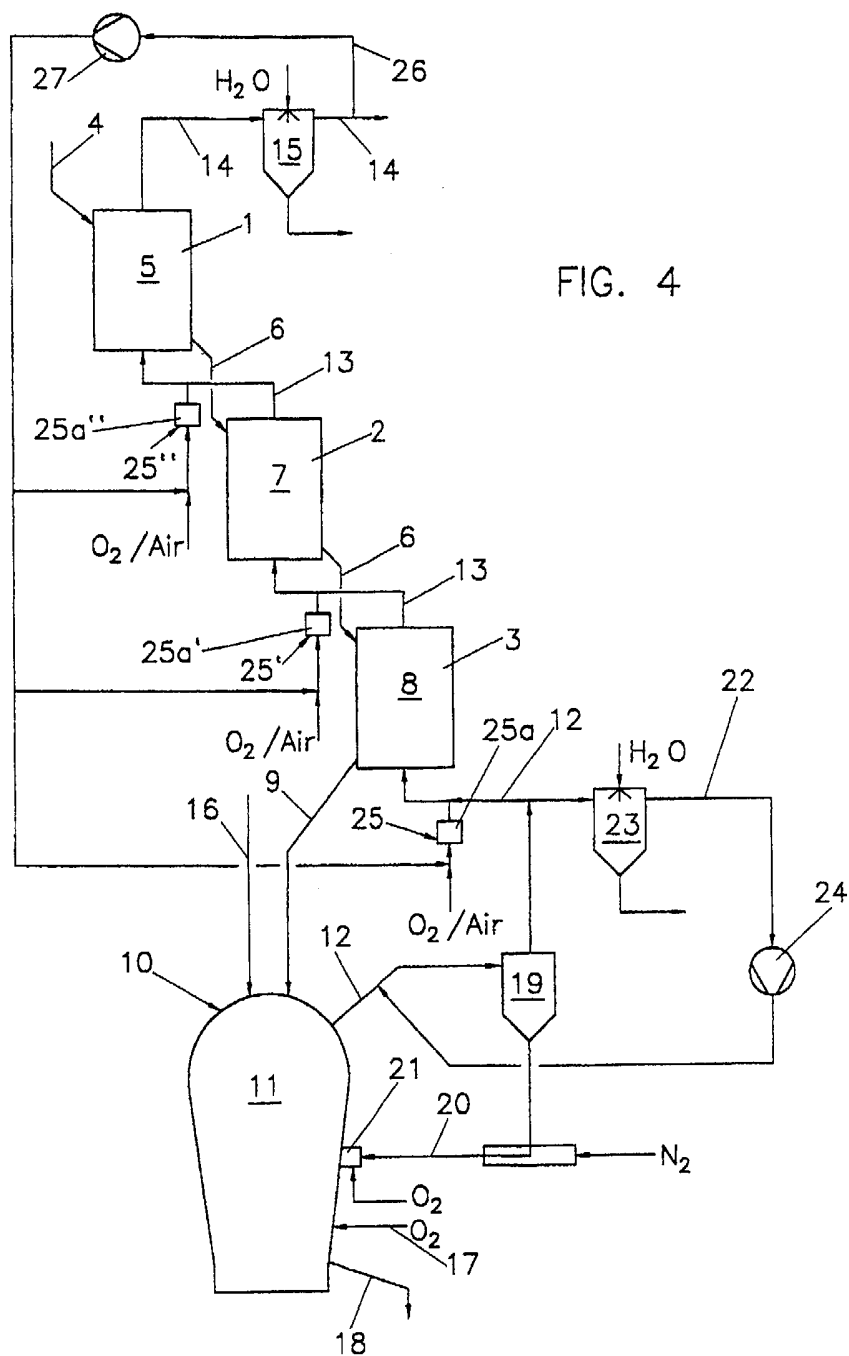
HIEZU 7 BLATT ZEICHNUNGEN

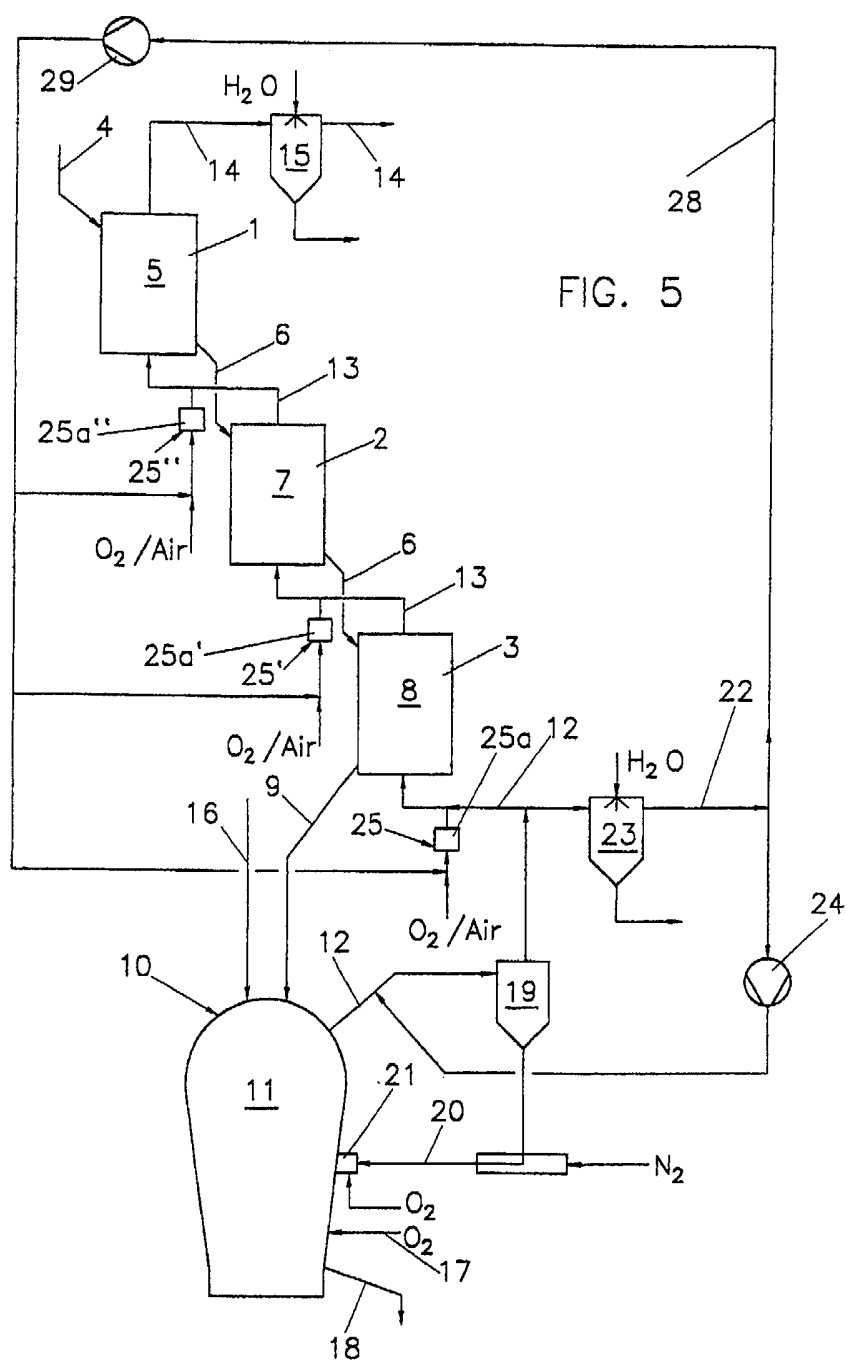












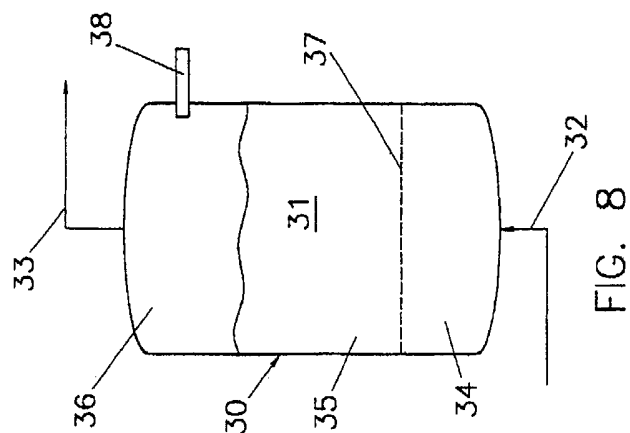


FIG. 8

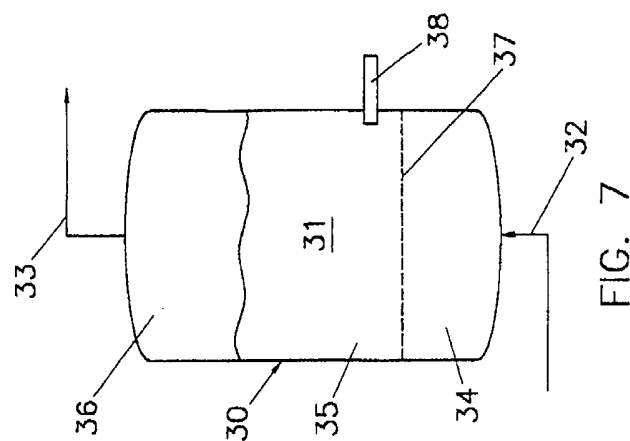


FIG. 7

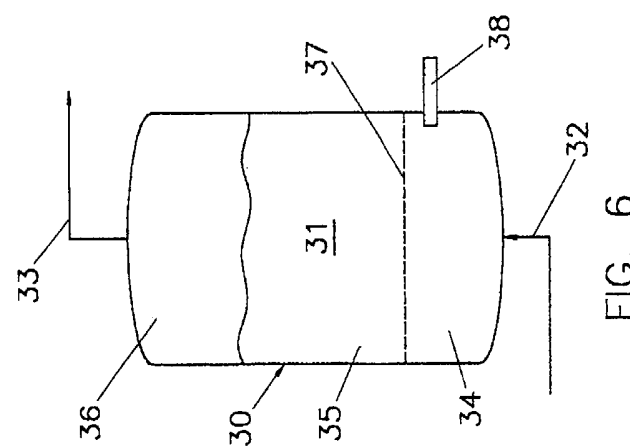


FIG. 6

