



(19)

REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer:

AT 409 386 B

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1108/2000
(22) Anmeldetag: 28.06.2000
(42) Beginn der Patentdauer: 15.12.2001
(45) Ausgabetag: 25.07.2002

(51) Int. Cl.⁷: C21B 13/14

(56) Entgegenhaltungen:
JP 58-34114A US 3985547A WO 97/13878A1

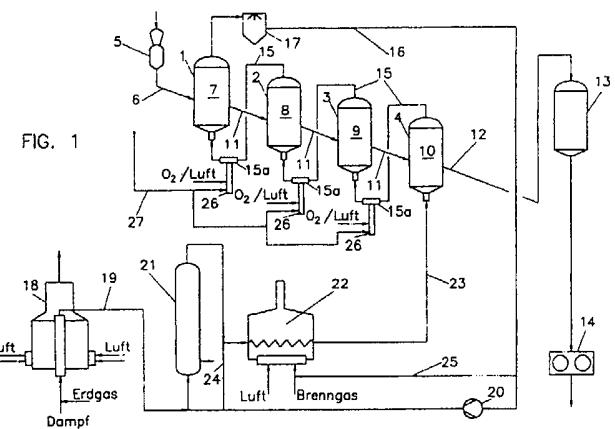
(73) Patentinhaber:
VOEST-ALPINE INDUSTRIEANLAGENBAU GMBH
& CO
A-4020 LINZ, OBERÖSTERREICH (AT).

(72) Erfinder:
KEPPLINGER LEOPOLD WERNER DIPLO.ING. DR.
LEONDING, OBERÖSTERREICH (AT).
HILLISCH WOLFGANG DIPLO.ING.
LEONDING, OBERÖSTERREICH (AT).
HIEBLER MARTIN DIPLO.ING.
LEOBEN, STEIERMARK (AT).

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

AT 409 386 B

(57) Bei einem Verfahren zur Direktreduktion von teilchenförmigen oxidhältigen Erzen, insbesondere von eisenoxidhältigem Material, im Wirbelschichtverfahren bei einem Druck > 5 bar, wobei das Erz mit Hilfe eines aus Erdgas erzeugten Reduktionsgases in einem als Vorwärmstufe (7) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (1) erhitzt, gegebenenfalls auch vorreduziert wird, anschließend in mindestens einem als Reduktionsstufe (8,9) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (2,3) zu Eisenschwamm reduziert wird und das Reduktionsgas über eine Reduktionsgasleitung (15) in Gegenrichtung des von Stufe zu Stufe geleiteten zu reduzierenden Materials von der Reduktionsstufe (8,9) zur Vorwärmstufe (7) geleitet wird und nach Reinigung als Exportgas abgezogen wird, wird dem der Reduktionsstufe (8,9) und/oder Vorwärmstufe (7) zugeführten Reduktionsgas Wärme zugeführt, und zwar durch Verbrennung eines externen Brenngases, insbesondere Erdgas, zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Direktreduktion von teilchenförmigen oxihältigen Erzen, insbesondere von eisenoxidhältigem Material, im Wirbelschichtverfahren bei einem Druck > 5 bar, wobei das Erz mit Hilfe eines aus Erdgas erzeugten Reduktionsgases in einem als Vorwärmstufe ausgebildeten Wirbelschichtreaktor erhitzt, gegebenenfalls auch vorreduziert wird, anschließend in mindestens einem als Reduktionsstufe ausgebildeten Wirbelschichtreaktor zu Eisenschwamm reduziert wird und das Reduktionsgas über eine Reduktionsgasleitung 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.

Ein Verfahren dieser Art ist beispielsweise aus der AT- 402 937 B bekannt. Bei diesem bekannten Verfahren wird eisenoxidhältiges Material in vier in Serie hintereinander geschalteten 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-Strömungsrichtung ersten Wirbelschicht-Reduktionszone folgenden Wirbelschicht-Reduktionszonen zusätzlich zu dem die Wirbelschicht-Reduktionszonen in Serie durchströmenden Reduktionsgas direkt zugeführt, so daß die Wirbelschicht-Reduktionszonen hinsichtlich der Reduktionsgasführung sowohl in Serie als auch parallel geschaltet sind. Das zusätzlich zugeführte, frisch gebildete Reduktionsgas wird den einzelnen Wirbelschicht-Reduktionszonen hierbei vorzugsweise in einer Menge von jeweils 5 bis 15% zugeführt.

Bei Wirbelschicht-Reaktorkaskaden mit Gegenstromführung von eisenoxidhältigem Material und Reduktionsgas, wie aus der AT- 402 937 B bekannt, kommt es zu einer schrittweisen Erwärmung des Feststoffs entsprechend der Enthalpieabnahme des Gases. Dies kann unter Umständen dazu führen, daß die Temperatur in den einzelnen Reduktionsstufen zu gering wird, wodurch eine Reaktion des Feststoffs mit dem Gas kinetisch und thermodynamisch behindert wird.

Durch Reduktion des eisenoxidhältigen Materials verringert sich das Reduktionspotential des im Gegenstrom geführten Reduktionsgases, d.h. sein Oxidationspotential nimmt von Stufe zu Stufe, d.h. entsprechend der Einsatzzeit des Reduktionsgases, zu. Durch Erhöhung der Temperatur des Reduktionsgases können sogenannte Autoreforming-Reaktionen ablaufen, welche den Gehalt an Methan im Reduktionsgas, das eine inerte Gaskomponente darstellt, absenken und die Menge an reduzierenden Gasbestandteilen (CO, H₂) erhöhen, wodurch thermodynamische Vorteile bei der Reduktion des Feststoffs erzielt werden können. Weiters kann durch die in-situ-Generierung von CO und H₂ die Menge des sogenannten Make-up-Gases, d.h. frisch zugeführten Reduktionsgases, abgesenkt werden, wodurch die gesamte Gasanlage verkleinert werden kann.

Aus der WO- 97/13878 A1 ist ein Verfahren bekannt, bei dem ein Teil des aus einer Endreduktionsstufe in eine Vorreduktionsstufe strömenden Reduktionsgases abgezweigt, gewaschen, von CO₂ gereinigt sowie aufgeheizt und anschließend in die Endreduktionsstufe rückgeführt wird. Die Erhitzung des der Endreduktionsstufe entnommenen und abgezweigten Reduktionsgases auf Reduktionstemperatur kann hierbei rekuperativ und/oder regenerativ und/oder durch eine Teilverbrennung des entnommenen Teils des Reduktionsgases erfolgen.

In der WO- 97/07247 A1 ist ein Verfahren beschrieben, bei dem ein aus einer Reduktionszone zur Direktreduktion eisenoxidhältigen Materials abgezogenes Exportgas einer CO₂-Eliminierung sowie einer Aufheizung unterzogen und einer weiteren Reduktionszone zur Direktreduktion eisenoxidhältigen Materials zugeführt wird, wobei die Aufheizung zweistufig erfolgen kann, und zwar in einer ersten Stufe durch Wärme des aus der weiteren Reduktionszone austretenden Exportgases, welches z.B. verbrannt wird und Wärme rekuperativ an das der weiteren Reduktionszone zugeführte Reduktionsgas abgibt, und in einer zweiten Stufe durch Teilverbrennung von der weiteren Reduktionszone frisch zugeführtem Reduktionsgas.

Wird das staubbeladene Reduktionsgas direkt mit Sauerstoff verbrannt, wie gemäß der WO- 97/13878 A1 und der WO- 97/07247 A1, so können lokal sehr hohe Temperaturen auftreten, die nachteilig zu einem Anschmelzen des Staubes führen. Dies ist nicht erwünscht, da das Anschmelzen des Staubes zu Störungen im Direktreduktionsverfahren führt; es kommt zu Agglomerationen und Anbackungen an Wänden der Reduktionsgefäß und Förderleitungen.

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 Kohlenwasserstoffmitteln des aus der Endreduktionszone abgezogenen oxidierenden Abgases

erzeugt wird, wobei das Eisenerz in einer ersten Stufe durch aus dem Kohlenwasserstoffabgeschiedenen Kohlenstoff vorreduziert wird. Zur Bereitstellung der für die Erzeugung des Reduktionsgases benötigten Energie wird das oxidierende Abgas erhitzt, bevor es mit dem Kohlenwasserstoff in Kontakt gebracht wird.

- 5 In der US 3,985,547 A ist ein Verfahren zur Eisenerzreduktion in einem Mehrfachwirbelbettreaktor 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
10 Wasser und CO₂ befreit und im erhitzten Zustand dem untersten Wirbelbett als Recycling-Reduktionsgas zugeführt.

Die Erfindung stellt sich die Aufgabe, bei einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art das Reduktionsgas beim Strömen von einer Wirbelschicht-Reduktionszone in die dieser nachgeschaltete Wirbelschicht-Reduktionszone so einer Aufheizung zu unterziehen, daß das Reduktionsgas und der Feststoff in einen für die Reduktion kinetisch und thermodynamisch günstigen Temperaturbereich gebracht werden, in welchem Autoreformingreaktionen zur Erhöhung des Reduktandenanteils im Reduktionsgas ablaufen können, wobei jedoch ein durch eine lokale Überhitzung bedingtes Anschmelzen des im Reduktionsgas enthaltenen Staubes und die damit verbundenen Probleme vermieden werden sollen.

- 20 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß dem der Reduktionsstufe und/oder Vorwärmstufe zugeführten Reduktionsgas Wärme zugeführt wird, und zwar durch Verbrennung eines externen Brenngases, insbesondere Erdgas, zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft.

Durch die Verbrennung eines staubfreien Brenngases, wie z.B. Erdgas, mit einem sauerstoffhähigen Gas vermeidet man die lokal sehr hohen Temperaturen, die entstehen, wenn das staubbeladene Reduktionsgas direkt mit Sauerstoff verbrannt wird.

25 Durch die Erhöhung der Reduktionsgastemperatur mittels der erfindungsgemäßen Verbrennung eines Brenngases werden Autoreformingreaktionen in der Gasphase thermodynamisch sowie kinetisch bevorzugt, wobei der vorhandene Staub im Reduktionsgas als Katalysator wirken kann. Bei diesen Autoreformingreaktionen kommt es zum Umsetzen von Methan mit CO₂ bzw. H₂O, wobei CO bzw. H₂ gebildet werden. Durch diese in-situ-Generierung der reduzierenden Bestandteile kann einerseits die Reduktionsgasanalyse und somit auch thermodynamisch die Reduktion feinteilchenförmigen oxidhähigen Materials verbessert werden und andererseits die Menge des Make-up-Gases, d.h. frisch zugeführten Reduktionsgases, reduziert werden.

30 Vorzugsweise erfolgt erfindungsgemäß die Verbrennung des Brenngases in einer Brennkammer, wobei die Brennkammer direkt von Reduktionsgas, das von einer Wirbelschicht-Reduktionszone in die nachgeschaltete Wirbelschicht-Reduktionszone strömt, geflutet wird. Hierdurch wird der apparative Aufwand so gering wie möglich gehalten.

35 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Verbrennung des Brenngases in einer von der Reduktionsgasleitung separaten Brennkammer. Das hierbei gebildete Verbrennungsgas wird erst anschließend in die Reduktionsgasleitung strömen gelassen. Hierdurch werden möglicherweise auftretende Flammenfronten bei der Verbrennung nivelliert, bevor sie mit dem staubbeladenen Reduktionsgas in Kontakt gelangen.

40 Vorteilhaft wird das Verbrennungsgas mit dem Reduktionsgas in einer Mischkammer gemischt. Hierdurch erreicht man eine bessere Vermischung des Reduktionsgases mit dem Verbrennungsgas.

45 Durch Zuführung eines weiteren Stoffes, wie Erdgas oder anderer Kohlenwasserstoffe, in die Mischkammer läßt sich vorteilhaft in Abhängigkeit von der Art des Stoffes der Oxidationsgrad des Reduktionsgases verändern sowie eine Produktion von reduzierenden Gasbestandteilen initiieren, wodurch die Reduktionsgaszusammensetzung beeinflußt werden kann.

50 Gemäß einer anderen Ausführungsform wird das Brenngas in einem Brenner innerhalb eines für die Direktreduktion der oxidhähigen Erze vorgesehenen Wirbelschicht-Reaktors verbrannt. Die Verbrennung kann je nach Anordnung des Brenners entweder unterhalb des Wirbelbetts, in Höhe des Wirbelbetts oder oberhalb des Wirbelbetts erfolgen. Auch ist es denkbar, daß alle Brenner in den Wirbelschicht-Reaktoren angeordnet sind.

55 Eine Anlage zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, mit mindestens zwei in

Serie hintereinandergeschalteten Wirbelschichtreaktoren zur Direktreduktion von teilchenförmigen oxihältigen Erzen, insbesondere eisenoxidhältigem Material, mittels eines aus Erdgas erzeugten CO- und H₂-hältigen Reduktionsgases, mit einer Reduktiongas-Zuleitung zu dem in Fließrichtung des oxihältigen Materials gesehenen letzten Wirbelschichtreaktor, einer Reduktionsgas-Ableitung aus dem in Fließrichtung des eisenoxidhältigen Materials gesehenen ersten Wirbelschichtreaktor und mit einer zur Führung des Reduktionsgases von einem Wirbelschichtreaktor in den diesem vorgesetzten Wirbelschicht-Reaktor vorgesehenen Reduktionsgasleitung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Anlage leistungsmäßig mit mindestens einem Brenner zur Verbrennung eines externen Brenngases, insbesondere Erdgas, mit Sauerstoff und/oder Luft verbunden ist.

5 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist der Brenner eine Brennkammer auf, die direkt in der Reduktionsgasleitung vorgesehen ist und vorzugsweise als eine im Durchmesser erweiterte Stelle der Reduktionsgasleitung ausgebildet ist.

10 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist der Brenner eine Brennkammer auf, die leistungsmäßig mit der Reduktionsgasleitung verbunden ist.

15 Zweckmäßig ist an der Einmündung der von der Brennkammer in die Reduktionsgasleitung führenden Leitung eine Mischkammer vorgesehen.

20 Vorteilhaft ist der Brenner in einem der Wirbelschichtreaktoren angeordnet. Dabei ist er entweder unterhalb des Wirbelbetts, in Höhe des Wirbelbetts oder oberhalb des Wirbelbetts angeordnet.

25 Die Erfindung ist nachfolgend anhand mehrerer in der Zeichnung dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert, wobei die Fig. 1 bis 3 jeweils eine vorteilhafte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens im Blockschema und die Fig. 4 bis 6 ein vergrößertes Detail einer bevorzugten Ausführungsform veranschaulichen.

30 Die in Fig. 1 dargestellte Anlage weist vier in Serie hintereinandergeschaltete Wirbelschichtreaktoren 1 bis 4 auf, wobei teilchenförmiges oxihältiges Erz, wie eisenoxidhältiges Erz, über ein Aufgabesystem 5 und eine Erzzuleitung 6 dem ersten Wirbelschichtreaktor 1, in dem in einer Vorwärmstufe 7 eine Vorerwärmung des Feinerzes und eventuell eine Vorreduktion stattfinden, zugeleitet und anschließend von Wirbelschichtreaktor 1 zu Wirbelschichtreaktor 2, 3 und 4 über Förderleitungen 11 geleitet wird. In den Wirbelschichtreaktoren 2 und 3 erfolgt in zwei Vorreduktionsstufen 8 und 9 eine Vorreduktion und im Wirbelschichtreaktor 4 in einer Endreduktionsstufe 10 eine Endreduktion des Feinerzes.

35 Das fertig reduzierte Material wird über eine Förderleitung 12 einem Sammelbehälter 13 zugeführt, von wo es in eine Brikettiereinrichtung 14 gelangt, in der es heiß- oder kaltbrikettiert wird. Erforderlichenfalls wird das reduzierte Material vor Reoxidation während des Transports, der Lagerung und der Brikettierung durch ein nicht dargestelltes Inertgassystem geschützt.

40 Vor Einleitung des Feinerzes über das Aufgabesystem 5 in den ersten Wirbelschichtreaktor 1 wird es einer Erzvorbereitung, wie einer Trocknung und einem Sieben, unterzogen, die nicht näher dargestellt ist.

45 Reduktionsgas wird im Gegenstrom zum Erzdurchfluß von Wirbelschichtreaktor 4 zu Wirbelschichtreaktor 3 bis 1 über Verbindungsleitungen 15 geführt und als Topgas über eine Topgas-Ableitung 16 aus dem in Gasströmungsrichtung letzten Wirbelschichtreaktor 1 abgeleitet und in einem Naßwäscher 17 gekühlt und gewaschen, wobei bei der Durchführung des Wirbelschichtverfahrens ein Druck von > 5 bar aufrechterhalten wird.

50 Die Herstellung des Reduktionsgases erfolgt durch Reformieren von gegebenenfalls vorher entschwefeltem Erdgas, Luft und Wasserdampf in einem Dampfreformer 18. Das gebildete reformierte Gas besteht im wesentlichen aus H₂, CO, CH₄, H₂O und CO₂.

55 Dieses reformierte Gas wird über eine Gasförderleitung 19, die mit der Topgas-Ableitung 16 zusammenmündet, gemeinsam mit dem mittels eines Verdichters 20 verdichteten Topgas einer CO₂-Eliminierungsanlage 21 und nachfolgend einem Gaserhitzer 22 zugeleitet und von diesem über eine Reduktionsgas-Zuleitung 23 dem in Fließrichtung des Feinerzes letztangeordneten Wirbelschichtreaktor 4 zugeführt. Die CO₂-Eliminierungsanlage 21 kann zum Beispiel als Druckwechsel-Adsorptionsanlage oder als chemischer oder physikalischer CO₂-Naßwäscher ausgebildet sein. Gegebenenfalls können Topgas und Reduktionsgas oder ein Teil derselben auch ohne CO₂-Eliminierung dem Gaserhitzer 22 über eine Leitung 24 zugeführt werden. Ein Teil des Topgases kann auch als Brenngas dem Gaserhitzer 22 über eine Zweigleitung 25 zugeführt werden.

55 Zur Zuführung von Wärme an das in die Vorreduktionsstufen 8 und 9 und/oder in die Vorwärm-

stufe 7 strömende Reduktionsgas sind an den Verbindungsleitungen 15, die an diesen Stellen Verdickungen 15a aufweisen, welche als vom Reduktionsgas durchströmte Brennkammern wirken, Brenner 26 angeordnet. Den Brennern 26 wird parallel über eine Zuführleitung 27 externes Brenngas, wie Erdgas, sowie Luft und/oder Sauerstoff, der auch in Form eines anderen sauerstoffhältigen Gases als Luft zuführbar ist, zugeführt. Im Reduktionsgas kommt es durch die Erhöhung der Gastemperatur zu Autoreforming-Prozessen und zur Erzeugung von weiteren reduzierenden Bestandteilen, wodurch das Reduktionspotential des Reduktionsgases vorteilhaft zunimmt und zusätzlich "sticking" in den Wirbelschichtreaktoren verhindert wird.

Gemäß Fig. 2 sind Brenner 26, in die wiederum parallel externes Brenngas und Sauerstoff und/oder Luft münden, an von den Verbindungsleitungen 15 separierten, jedoch mit ihnen leitungsmäßig in Verbindung stehenden Brennkammern 28 angeordnet, so daß bei der Verbrennung möglicherweise auftretende Flammenfronten bereits in den Brennkammern 28 vergleichmäßig werden, ehe das Verbrennungsgas mit dem in den Verbindungsleitungen 15 strömenden, gegebenenfalls staubbeladenen Reduktionsgas in Kontakt gelangt.

Das in Fig. 3 dargestellte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem in Fig. 2 veranschaulichten durch in den Verbindungsleitungen 15 angeordnete Mischkammern 29, in denen das in den Brennkammern 28 erzeugte heiße Verbrennungsgas mit dem Reduktionsgas vermischt wird. Aufgrund der längeren Verweildauer des Reduktionsgases in den Mischkammern 29 kann der Vermischungsvorgang vollständiger und schneller ablaufen.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Verbrennung des verwendeten externen Brenngases, beispielsweise Erdgas, zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft mittels eines einem Wirbelschichtreaktor zugeordneten Brenners. Der in Fig. 4 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 einen Freiraum bildenden Zone 36, dem sogenannten Freeboard, ist weniger scharf als bei den beiden unteren Zonen. Im Freeboard findet eine Beruhigung des Gasraums statt, wodurch verhindert wird, daß Erzteilchen aus dem Wirbelschichtreaktor 30 ausgetragen werden. In der untersten Zone 34 unterhalb des Verteilerboden 37 ist ein Brenner 38 angeordnet, zu dem eine nicht dargestellte Sauerstoff- und/oder Luftleitung sowie eine Brenngasleitung führen. Die heißen Verbrennungsgase führen dem in den Wirbelschichtreaktor 30 strömenden Reduktionsgas Wärme zu bzw. führen zu Autoreforming-Reaktionen.

Bei der in Fig. 5 dargestellten Ausführungsform ist der Brenner 38 in der mittleren Zone 35, im Wirbelbett, angeordnet. Diese Ausführungsform ist dann vorteilhaft, wenn das Reduktionsgas besonders staubbeladen ist, da hierbei keine Gefahr besteht, daß der Verteilerboden 37 durch anschmelzenden Staub verlegt wird.

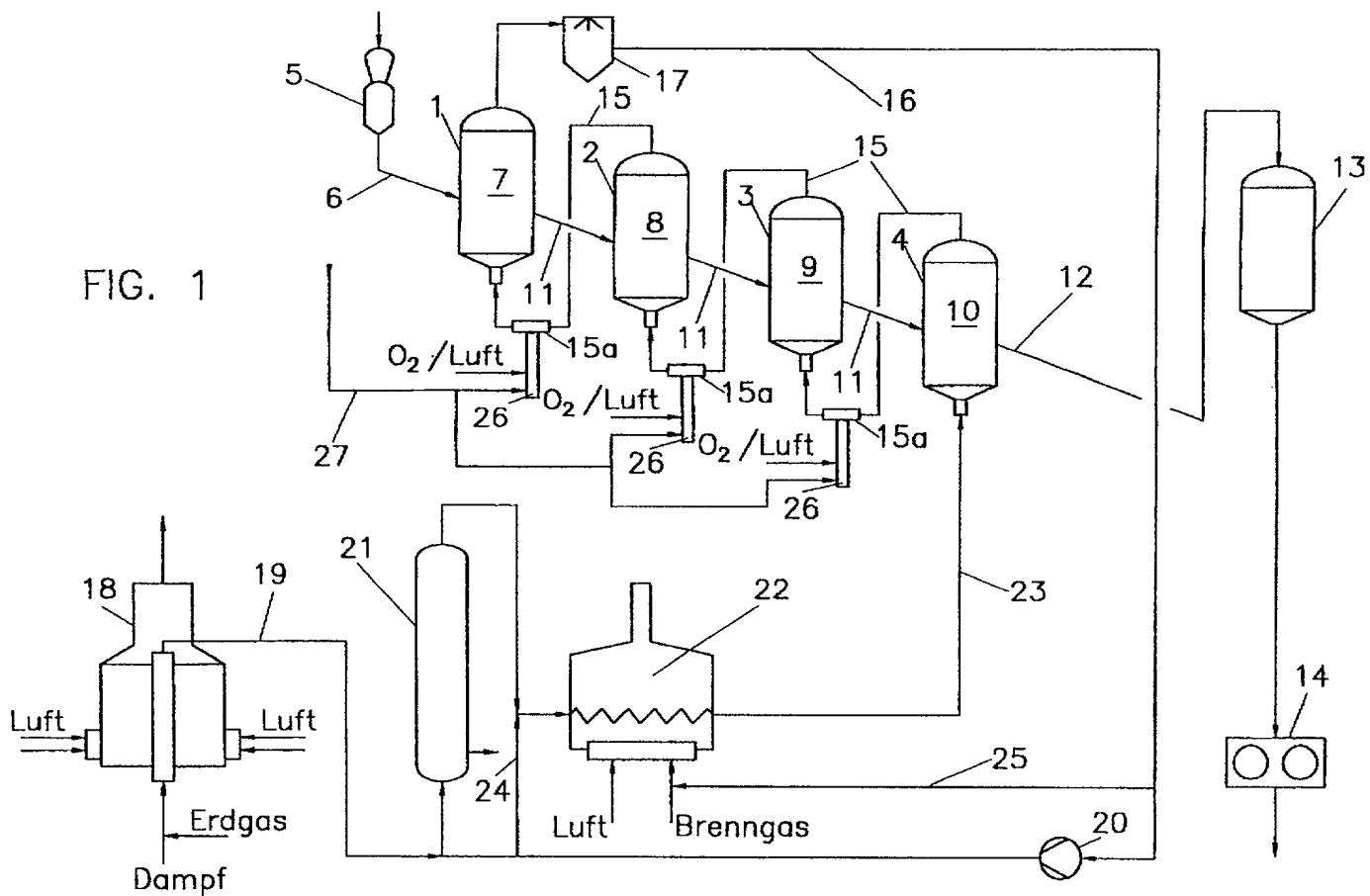
Fig. 6 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform, bei welcher der Brenner 38 im Freeboard 36 angeordnet ist.

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:

- 50 1. Verfahren zur Direktreduktion von teilchenförmigen oxihältigen Erzen, insbesondere von eisenoxidhältigem Material, im Wirbelschichtverfahren bei einem Druck > 5 bar, wobei das Erz mit Hilfe eines aus Erdgas erzeugten Reduktionsgases in einem als Vorwärmstufe (7) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (1) erhitzt, gegebenenfalls auch vorreduziert wird, anschließend in mindestens einem als Reduktionsstufe (8,9) ausgebildeten Wirbelschichtreaktor (2,3) zu Eisenschwamm reduziert wird und das Reduktionsgas über eine Reduktionsstufe 55

- 5 onsgasleitung (15) in Gegenrichtung des von Stufe zu Stufe geleiteten zu reduzierenden Materials von der Reduktionsstufe (8,9) zur Vorwärmstufe (7) geleitet wird und nach Reinigung als Exportgas abgezogen wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem der Reduktionsstufe (8,9) und/oder Vorwärmstufe (7) zugeführten Reduktionsgas Wärme zugeführt wird, und zwar durch Verbrennung eines externen Brenngases, insbesondere Erdgas, zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Brenngas in einer Brennkammer (15a) verbrannt wird, wobei die Brennkammer (15a) direkt von Reduktionsgas, das von einer Wirbelschicht-Reduktionsstufe (8,9) in die in Richtung des Gasflusses nachgeschaltete Wirbelschicht-Reduktionsstufe (7,8) strömt, geflutet wird.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Brenngas in einer von der Reduktionsgasleitung (15) separaten Brennkammer (28) verbrannt wird und das hierbei gebildete Verbrennungsgas anschließend in die Reduktionsgasleitung (15) strömen gelassen wird.
- 20 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Verbrennungsgas mit dem Reduktionsgas in einer Mischkammer (29) gemischt wird.
- 25 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Mischkammer (29) zwecks Beeinflussens der Reduktionsgaszusammensetzung noch ein weiterer Stoff, wie Erdgas oder andere Kohlenwasserstoffe, zugeführt wird.
- 30 6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Brenngas in einem Brenner (38) innerhalb eines der Direktreduktion des oxidhältigen Erzes dienenden Wirbelschicht-Reaktors (30), und zwar entweder unterhalb des Wirbelbetts (35), in Höhe des Wirbelbetts (35) oder oberhalb des Wirbelbetts (35), verbrannt wird. (Fig. 4 bis 6)
- 35 7. Anlage zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, mit mindestens zwei in Serie hintereinandergeschalteten Wirbelschichtreaktoren zur Direktreduktion von teilchenförmigen oxidhältigen Erzen mittels eines aus Erdgas erzeugten CO- und H₂-hältigen Reduktionsgases, mit einer Reduktionsgas-Zuleitung (23) zu dem in Fließrichtung des eisenoxidhältigen Materials gesehenen letzten Wirbelschichtreaktor (10), einer Reduktionsgas-Ableitung (16) aus dem in Fließrichtung des oxidhältigen Materials gesehenen ersten Wirbelschichtreaktor (1) und mit einer zur Führung des Reduktionsgases von einem Wirbelschichtreaktor in den diesem vorgeschalteten Wirbelschichtreaktor vorgesehenen Reduktionsgasleitung (15), dadurch gekennzeichnet, daß die Anlage leistungsmäßig mit mindestens einem Brenner (26,38) zur Verbrennung eines externen Brenngases, insbesondere Erdgas, zusammen mit Sauerstoff und/oder Luft verbunden ist.
- 40 8. Anlage nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Brenner (26) eine Brennkammer (15a) aufweist, die direkt in der Reduktionsgasleitung (15) vorgesehen ist und vorzugsweise als eine im Durchmesser erweiterte Stelle der Reduktionsgasleitung (15) ausgebildet ist. (Fig. 1)
- 45 9. Anlage nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Brenner (26) eine Brennkammer (28) aufweist, die leistungsmäßig mit der Reduktionsgasleitung (15) verbunden ist. (Fig. 2)
- 50 10. Anlage nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß an der Einmündung der von der Brennkammer (28) in die Reduktionsgasleitung (15) führenden Leitung eine Mischkammer (29) vorgesehen ist. (Fig. 3)
11. Anlage nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Brenner (38) in einem Wirbelschicht-Reaktor (30) angeordnet ist. (Fig. 4 bis 6)
12. Anlage nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Brenner (38) unterhalb des Wirbelbetts (35) angeordnet ist. (Fig. 4)
13. Anlage nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Brenner (38) in Höhe des Wirbelbetts (35) angeordnet ist. (Fig. 5)
14. Anlage nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Brenner (38) oberhalb des Wirbelbetts (35) angeordnet ist. (Fig. 6)



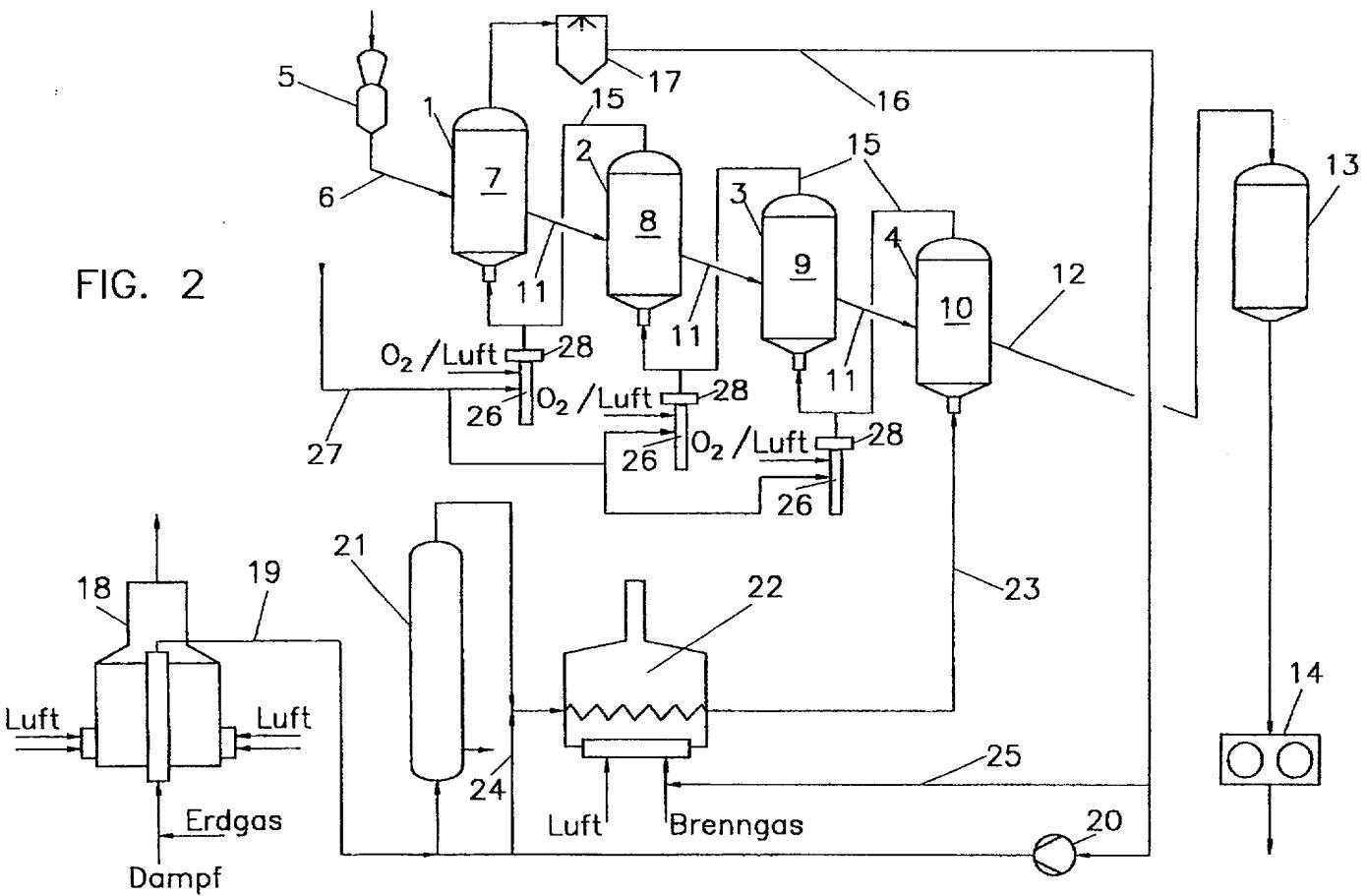
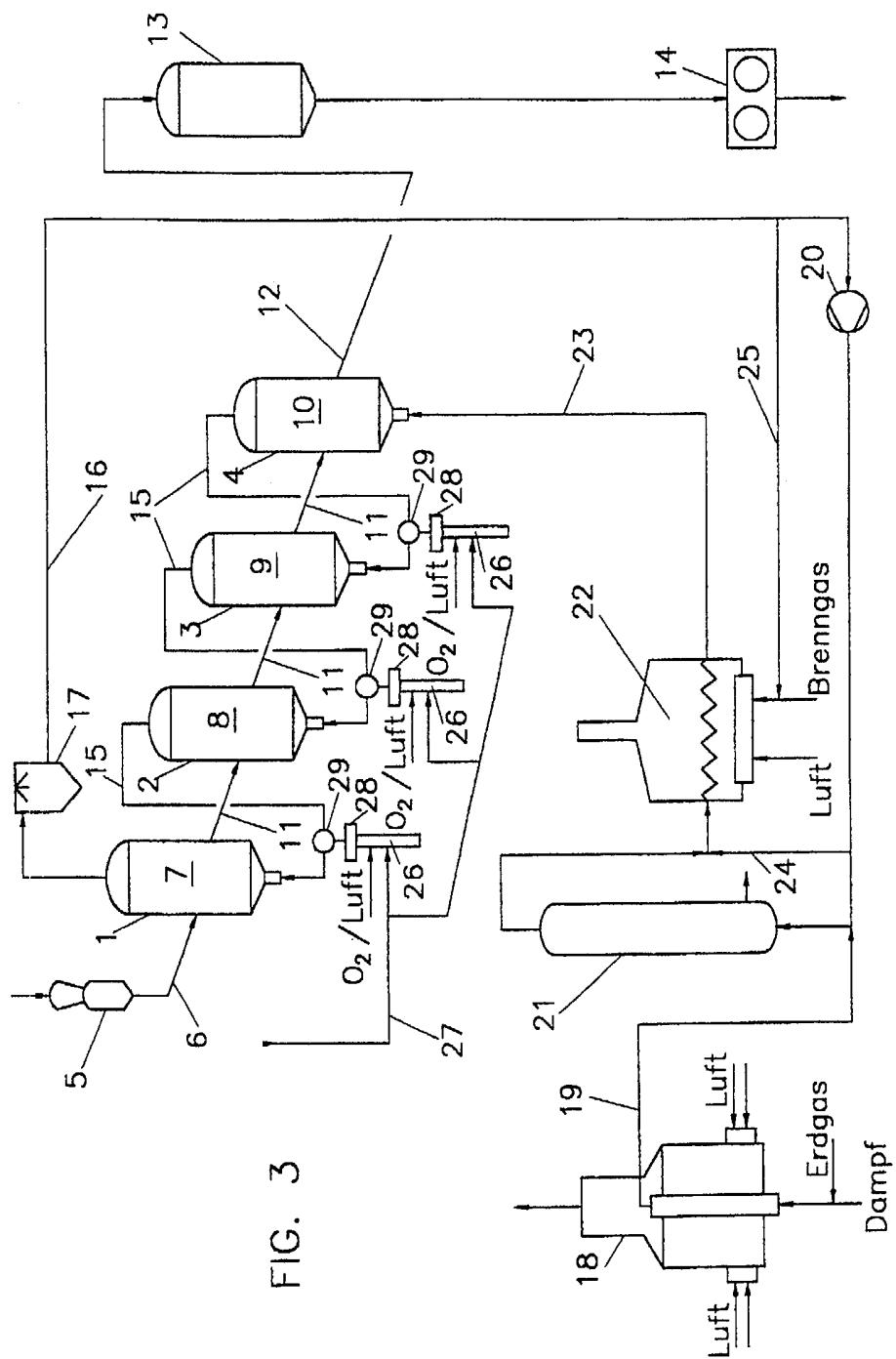


FIG. 3



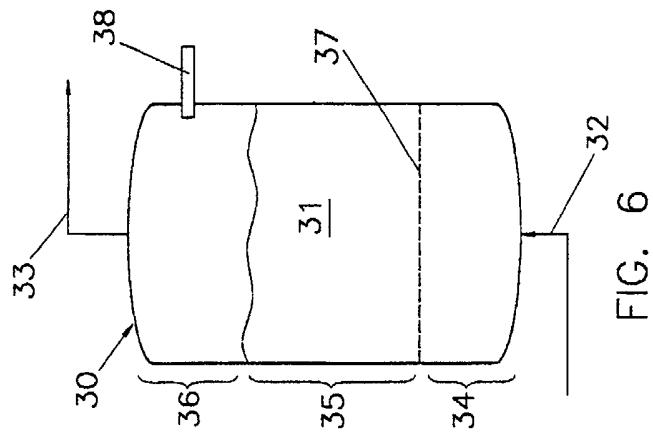


FIG. 6

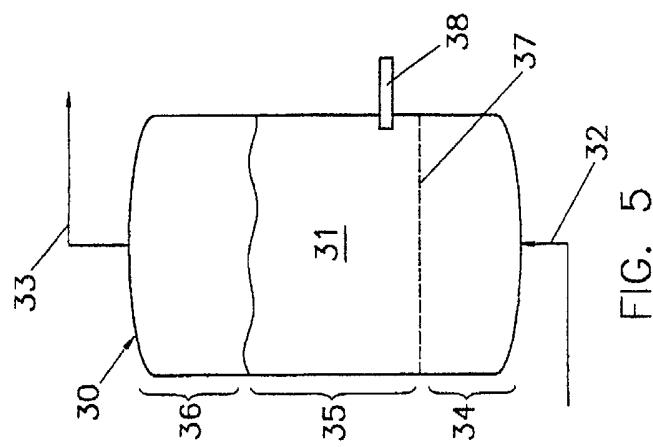


FIG. 5

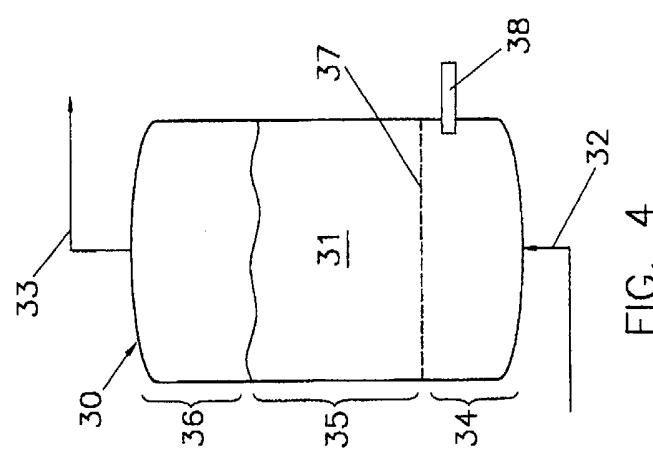


FIG. 4