

(19)



REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer: **AT 406 484 B**

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1379/95
(22) Anmeldetag: 16.08.1995
(42) Beginn der Patentedauer: 15.10.1999
(45) Ausgabetag: 25.05.2000

(51) Int. Cl.⁷: **C21B 13/14**

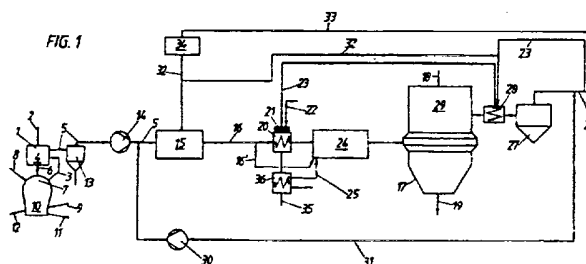
(56) Entgegenhaltungen:
AT 367456B AT 396255B US 4062529A

(73) Patentinhaber:
VOEST-ALPINE INDUSTRIEANLAGENBAU
GMBH
A-4020 LINZ, OBERÖSTERREICH (AT).
(72) Erfinder:
DIEHL JÖRG DIPL.ING.
LINZ, OBERÖSTERREICH (AT).
ROSENFELLNER GERALD DIPL.ING.
ST. PETER/AU, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON FLÜSSIGEM ROHEISEN ODER FLÜSSIGEN STAHLVORPRODUKTEN UND EISENSCHWAMM SOWIE ANLAGE ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS

(57) Bei einem Verfahren zur Herstellung von flüssigem Roheisen oder flüssigen Stahlvorprodukten und Eisenschwamm aus Eisenerz wird das Eisenerz in einer ersten Reduktionszone (4) zu Eisenschwamm direkt reduziert, der Eisenschwamm in einer Einschmelzvergasungszone (10) unter Zufuhr von Kohlenstoffträgern und sauerstoffhaltigem Gas erschmolzen und ein CO- und H₂-haltiges Reduktionsgas erzeugt, welches in die erste Reduktionszone (4) eingeleitet, dort umgesetzt und als Exportgas abgezogen wird, wobei das abgezogene Exportgas einer CO₂-Eliminierung sowie einer Aufheizung unterzogen wird und als zumindest weitgehend CO₂-freies Reduktionsgas mindestens einer weiteren Reduktionszone (29) zur Direktreduktion von Eisenerz zugeführt wird.

Um eine möglichst vollständige Nutzung des aus der weiteren Reduktionszone (29) abgezogenen Exportgases zu ermöglichen, wird das für die Aufheizung des aus der ersten Reduktionszone (4) stammenden Exportgases Wärme des der weiteren Reduktionszone (29) austretenden Exportgases eingesetzt.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von flüssigem Roheisen oder flüssigen Stahlvorprodukten und Eisenschwamm aus von Eisenerz vorzugsweise, in Stück- und/oder Pelletform, und gegebenenfalls Zuschlägen gebildeten Einsatzstoffen, wobei die Einsatzstoffe in einer ersten Reduktionszone zu Eisenschwamm direkt reduziert werden, der Eisenschwamm in einer Einschmelz-Vergasungszone unter Zufuhr von Kohlenstoffträgern und sauerstoffhaltigem Gas erschmolzen und ein CO- und H₂-haltiges Reduktionsgas erzeugt wird, welches in die erste Reduktionszone eingeleitet, dort umgesetzt und als Exportgas abgezogen wird, und wobei das abgezogene Exportgas einer CO₂-Eliminierung sowie einer Aufheizung unterzogen wird und als zumindest weitgehend CO₂-freies Reduktionsgas mindestens einer weiteren Reduktionszone zur Direktreduktion von weiterem Eisenerz zugeführt und nach Umsetzung mit dem Eisenerz als Exportgas abgezogen wird, sowie eine Anlage zur Durchführung des Verfahrens.

Ein Verfahren dieser Art ist beispielsweise aus DE- 40 37 977 C2 bekannt. Bei diesem bekannten Verfahren wird aus der weiteren Reduktionszone abgezogenes Exportgas einer Wäsche unterworfen und anschließend gemeinsam mit dem aus der ersten Reduktionszone stammenden Exportgas einer CO₂-Eliminierung sowie einer Aufheizung unterzogen. Dieses Mischgas wird dann dem weiteren Reduktionsprozeß als Reduktionsgas zugeführt. Hierdurch gelingt eine Ausnützung eines Teils der im aus der weiteren Reduktionszone stammenden Exportgas noch vorhandenen Reduktanten, da dieses Exportgas als Recycle- Reduktionsgas dem weiteren Reduktionsprozeß zugeführt wird.

Das bei diesem bekannten Verfahren dem weiteren Reduktionsprozeß zugeführte Reduktionsgas wird zunächst einer Vorerhitzung in einem Wärmetauscher und anschließend in einer zweiten Erhitzungsstufe auf die für die Direktreduktion erforderliche Temperatur erhitzt, wobei diese weitere Erhitzung durch eine Teilverbrennung des Reduktionsgases bewerkstelligt wird.

Durch eine solche Teilverbrennung wird jedoch die Qualität des Reduktionsgases verschlechtert, da hierdurch Reduktanten verbraucht werden und der CO₂- bzw. H₂O-Gehalt ansteigen. Das Ansteigen des CO₂-Gehaltes auf einen zu hohen Wert kann zwar dadurch ausgeglichen werden, daß das Reduktionsgas vor der Erhitzung nur einen ganz geringen Gehalt an CO₂ und H₂O aufweist. Hierdurch resultiert jedoch der Nachteil, daß durch eine strenge Spezifikation für den Restgehalt an CO₂ Reduktanten mit dem aus der CO₂-Eliminierungsanlage austretenden Abgas ausgetragen werden.

Die Erfindung bezweckt die Vermeidung dieser Nachteile und Schwierigkeiten und stellt sich die Aufgabe, ein Verfahren sowie eine Anlage zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen, welche eine möglichst vollständige Nutzung der Energie des Exportgases, das aus dem weiteren Reduktionsprozeß stammt, und zwar insbesondere durch Schonung dessen Reduktanten, ermöglicht. Weiters soll eine Minimierung der dem weiteren Reduktionsprozeß von außen zuzuführenden Energie erreicht werden. Zudem soll die CO₂-Eliminierungsanlage effizient, d.h. mit möglichst geringem Reduktantenverlust betrieben werden können und trotzdem im der weiteren Reduktionszone zugeführten Reduktionsgas ein hinreichend niedriger CO₂- und H₂O-Gehalt sichergestellt sein.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art dadurch gelöst, daß für die Aufheizung des aus der ersten Reduktionszone stammenden Exportgases Wärme des der weiteren Reduktionszone austretenden Exportgases eingesetzt wird.

Es ist eine besondere Aufgabe der Erfindung, für die Aufheizung des der weiteren Reduktionszone zugeführten Reduktionsgases mit einem möglichst geringen Anteil an aus dem weiteren Reduktionsprozeß stammenden Exportgas das Auslangen zu finden, so daß dieses Exportgas in möglichst großer Menge als Recycle- Reduktionsgas dem weiteren Reduktionsprozeß zur Verfügung steht.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß zur Aufheizung dem aus der weiteren Reduktionszone abgezogenen Exportgas im heißen, ungewaschenen Zustand fühlbare Wärme rekuperativ entzogen wird und dem aus der ersten Reduktionszone stammenden Exportgas über einen Wärmeträger übermittelt wird, wobei vorteilhaft der Wärmeträger von gewaschenem Exportgas der weiteren Reduktionszone gebildet ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird zur Aufheizung des aus dem ersten Reduktionsprozeß stammenden Exportgases aus der weiteren Reduktionszone abgezogenes Exportgas nach einer Wäsche rekuperativ von ungewaschenem Exportgas der weiteren Reduktionszone erhitzt und verbrannt, wobei die Rauchgase das aus der ersten Reduktionszone stammende Exportgas rekuperativ erhitzen. Hierdurch läßt sich die Menge des zur Verbrennung

gelangenden Exportgases minimieren, wodurch mehr Exportgas zum Rezyklieren zur Verfügung steht und letztendlich eine beträchtliche Erhöhung der Kapazität der Anlage erzielt werden kann.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt eine Voraufheizung des aus der ersten Reduktionszone stammenden Exportgases durch Verbrennung von aus der weiteren Reduktionszone stammendem Exportgas und durch rekuperativen Wärmeübergang der in den Rauchgasen enthaltenen Wärme und anschließend eine weitere Aufheizung durch eine Teilverbrennung des aus der ersten Reduktionszone stammenden Exportgases, wobei dem Teilverbrennungsprozeß die beim weiteren Reduktionsprozeß nicht verbrauchte Wärmeenergie zugeführt wird.

Hierbei wird vorteilhaft für die Teilverbrennung eingesetzter Sauerstoff bzw. eingesetztes sauerstoffhaltiges Gas einer rekuperativen Erhitzung unterworfen, und zwar durch im Exportgas, stammend aus dem weiteren Reduktionsprozeß, enthaltene chemisch gebundene und/oder fühlbare Wärme.

Dies bringt den Vorteil einer Minimierung des Sauerstoffverbrauchs und auch einer Minimierung des Verbrauchs von Reduktionsgas für die Teilverbrennung. Dies erlaubt wiederum eine höhere CO₂-Spezifikation im gereinigten Exportgas für die CO₂-Eliminierungsanlage, was nicht nur eine weitere Nutzung der Restenergie, sondern ein höherwertiges Reduktionsgas (mit einer höheren Menge an Reduktanten) und eine erhöhte Produktionskapazität ergibt.

Diese Vorteile vergrößern sich, wenn zumindest ein Teil des aus der weiteren Reduktionszone abgezogenen Exportgases verbrannt wird und das dabei entstehende Rauchgas fühlbare Wärme an den Sauerstoff bzw. das sauerstoffhaltige Gas rekuperativ abgibt.

Eine zusätzliche Erhöhung dieser Vorteile läßt sich dadurch erzielen, daß ein Teil des voraufgeheizten, aus der ersten Reduktionszone abgezogenen Exportgases als Brenngas zur Verbrennung desselben zusammen mit Sauerstoff bzw. einem sauerstoffhaltigen Gas eingesetzt wird.

Weiters ist es zweckmäßig, wenn zur Verbrennung von aus der weiteren Reduktionszone stammendem Exportgas diesem Exportgas Luft beigemischt wird, die mit bei der Verbrennung von aus der weiteren Reduktionszone abgezogenem Exportgas entstehendem Rauchgas rekuperativ erhitzt wird.

Eine Anlage zur Durchführung des Verfahrens mit einem ersten Reduktionsreaktor für Eisenerz, vorzugsweise in Stück- und/oder Pelletform, einem Einschmelzvergaser, einer den Einschmelzvergaser mit dem ersten Reduktionsreaktor verbindenden Zuleitung für ein Reduktionsgas, einer den ersten Reduktionsreaktor mit dem Einschmelzvergaser verbindenden Förderleitung für das im ersten Reduktionsreaktor gebildete Reduktionsprodukt, mit einer vom ersten Reduktionsreaktor ausgehenden Exportgas-Ableitung, mit in den Einschmelzvergaser mündenden Zuleitungen für sauerstoffhaltige Gase und Kohlenstoffträger, einem am Einschmelzvergaser vorgesehenen Abstich für Roheisen und Schlacke, und mit mindestens einem zusätzlichen Reduktionsreaktor zur Aufnahme von weiterem Eisenerz, einer Reduktionsgas-Zuleitung zu diesem Reduktionsreaktor, einer Exportgas-Ableitung aus diesem weiteren Reduktionsreaktor und einer Austragsvorrichtung für das in diesem weiteren Reduktionsreaktor gebildete Reduktionsprodukt, wobei die Exportgas-Ableitung des ersten Reduktionsreaktors in eine CO₂-Eliminierungsanlage mündet, von der die Reduktionsgaszuleitung des zusätzlichen Reduktionsreaktors ausgeht und über eine Heizeinrichtung für das von CO₂ gereinigte Exportgas in den zusätzlichen Reduktionsreaktor mündet, ist dadurch gekennzeichnet, daß die Exportgas-Ableitung des weiteren Reduktionsreaktors in einen Wärmetauscher mündet und von diesem zu einem Wäscher führt, daß nach diesem Wäscher eine Zweigleitung von der Exportgas-Ableitung abzweigt, in den Wärmetauscher zwecks rekuperativer Aufheizung des abgezweigten gewaschenen Exportgases durch ungewaschenes Exportgas mündet und von diesem ausgehend der Heizeinrichtung zugeführt ist.

Hierbei ist zweckmäßig, wenn die Zweigleitung in einen Brenner der Heizeinrichtung mündet und daß das Rauchgas des Brenners mittels einer Rauchgasableitung über einen Wärmetauscher zur rekuperativen Erhitzung eines der Heizeinrichtung über eine Leitung zugeführten sauerstoffhaltigen Gases oder Sauerstoffes geführt ist.

Vorzugsweise mündet die Zweigleitung in einen Brenner der Heizeinrichtung und ist das Rauchgas des Brenners mittels einer Rauchgasableitung über einen Wärmetauscher zur rekuperativen Erhitzung eines sauerstoffhaltigen Gases, wie Luft, zugeführt, wobei die erhitzte Luft zum Brenner der Heizeinrichtung über eine Leitung zugeführt ist.

Eine bevorzugte Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, daß eine Zweigleitung von der Reduktionsgas-Zuleitung nach dem der Aufheizung des dem weiteren Reduktionsreaktor zugeleiteten Reduktionsgases dienenden Wärmetauscher ausgeht und in eine Nachverbrennungseinrichtung zusammen mit einer Sauerstoff oder ein sauerstoffhaltiges Gas zuführenden Leitung mündet

Eine weitere bevorzugte Anlage mit einem ersten Reduktionsreaktor für Eisenerz, vorzugsweise in Stück- und/oder Pelletform, einem Einschmelzvergaser, einer den Einschmelzvergaser mit dem ersten Reduktionsreaktor verbindenden Zuleitung für ein Reduktionsgas, einer den ersten Reduktionsreaktor mit dem Einschmelzvergaser verbindenden Förderleitung für das im ersten Reduktionsreaktor gebildete Reduktionsprodukt, mit einer vom ersten Reduktionsreaktor ausgehenden Exportgas-Ableitung, mit in den Einschmelzvergaser mündenden Zuleitungen für sauerstoffhaltige Gase und Kohlenstoffträger, einem am Einschmelzvergaser vorgesehenen Abstich für Roheisen und Schlacke, und mit mindestens einem zusätzlichen Reduktionsreaktor zur Aufnahme von weiterem Eisenerz, einer Reduktionsgas-Zuleitung zu diesem Reduktionsreaktor, einer Exportgas-Ableitung aus diesem weiteren Reduktionsreaktor und einer Austragsvorrichtung für das in diesem weiteren Reduktionsreaktor gebildete Reduktionsprodukt, wobei die Exportgas-Ableitung des ersten Reduktionsreaktors in eine CO₂-Eliminierungsanlage mündet, von der die Reduktionsgas-Zuleitung des zusätzlichen Reduktionsreaktors ausgeht und über eine Heizeinrichtung für das von CO₂ gereinigte Exportgas in den zusätzlichen Reduktionsreaktor mündet ist dadurch gekennzeichnet, daß von der Exportgas-Ableitung des weiteren Reduktionsreaktors eine Zweigleitung in einen Brenner der Heizeinrichtung mündet und daß das Rauchgas des Brenners mittels einer Rauchgasableitung über einen Wärmetauscher zur rekuperativen Erhitzung eines sauerstoffhaltigen Gases, wie Luft, oder von Sauerstoff geführt ist und das erhitzte sauerstoffhaltige Gas bzw. der Sauerstoff zur Heizeinrichtung über eine Leitung geführt ist.

Hierbei mündet zweckmäßig das erhitzte sauerstoffhaltige Gas bzw. der erhitzte Sauerstoff in eine Nachverbrennungseinrichtung der Heizeinrichtung zusammen mit über eine von der Reduktionsgaszuleitung ausgehende Zweigleitung zugeleitetem Reduktionsgas.

Die Erfindung betrifft weiters die Verwendung von nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Roheisen- oder Stahlvorprodukten zur Erzeugung eines handelsfähigen Produkts, wie Walzgut.

Die Erfindung ist nachfolgend anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert, wobei die Fig. 1 bis 4 jeweils in Blockschemata dargestellte Verfahrensvarianten veranschaulichen.

In einem ersten, als Schachtofen 1 ausgebildeten Reduktionsreaktor werden gemäß den Fig. 1 bis 4 in bekannter Weise über eine Leitung 2 teilchenförmiges, eisenoxydhaltiges Material, vorzugsweise stückiges Eisenerz, und etwaige Zuschläge zugeführt. Über eine Zuleitung 3 wird Reduktionsgas in den Reduktionsschachtofen 1 eingeblasen, das entgegen dem Strom des nach unten sinkenden Eisenerzes nach oben aufsteigt und die Reduktion des Einsatzes in der Reduktionszone 4 bewirkt. Nach Durchströmen des Schachtofens 1 wird dieses Gas als Exportgas über eine Exportgas-Ableitung 5 abgeführt. Über vorzugsweise als Fallrohre 6 ausgebildete Förderleitungen gelangt der reduzierte Möller, der Eisen in Form von Eisenschwamm enthält, in einen Einschmelzvergaser 7. Dem Einschmelzvergaser 7 wird in bekannter Weise über eine Leitung 8 ein stückiger Kohlenstoffträger, beispielsweise in Form von Braunkohlen-Hochtemperaturkoks sowie gegebenenfalls als Kohle, und weiters über eine Leitung 9 ein sauerstoffhaltiges Gas zugeführt.

Der Möller bzw. Eisenschwamm fällt hierbei von oben in der im Einschmelzvergaser 7 gebildeten Einschmelzvergasungszone 10 auf ein aus stückigen Kohlenstoffträgern gebildetes Fließbett bzw. Wirbelbett, das durch das eingeblasene sauerstoffhaltige Gas aufrechterhalten wird. Durch die Verbrennung des Koks sowie gegebenenfalls der Kohle unter Einwirkung des sauerstoffhaltigen Gases wird im Fließbett bzw. Wirbelbett soviel Wärme erzeugt, daß der Eisenschwamm schmilzt. Im geschmolzenen Zustand wird er durch den Kohlenstoff fertig reduziert, so daß sich am Boden des Einschmelzvergasers 7 eine Roheisenschmelze bzw. ein Stahlvorprodukt in flüssigem Zustand ansammelt. Über der Roheisenschmelze bildet sich eine Schlackenschmelze aus. Diese beiden Schmelzen werden in vorgegebenen Zeitabständen über entsprechend angeordnete Abstiche 11, 12 abgezogen.

Bei der Verbrennung des Koks und gegebenenfalls der Kohle im Einschmelzvergaser 7 wird ein im wesentlichen aus CO und H₂ bestehendes Reduktionsgas erzeugt, das über die Zuleitung 3 aus dem Einschmelzvergaser 7 abgezogen und dem Reduktionsschachtofen 1 zugeführt wird. Eine

Reinigung und Abkühlung des im Einschmelzvergaser 7 gebildeten Reduktionsgases auf die für die Direktreduktion erforderliche Temperatur erfolgt in an sich bekannter Weise über Staubabscheider oder Wäscher, was in der Zeichnung jedoch nicht näher dargestellt ist.

Das über die Exportgas-Ableitung 5 abgezogene Exportgas wird zunächst einer Reinigung, beispielsweise in einem Zyklon 13 oder einem Wäscher, unterzogen, um es von Staubpartikeln zu befreien. Anschließend gelangt das Exportgas mit Hilfe eines Verdichters 14 in eine CO₂-Eliminierungsanlage 15, in der es weitgehendst von CO₂ und gleichzeitig von H₂S befreit wird. Die CO₂-Eliminierungsanlage ist beispielsweise als Druckwechsel-Adsorptionsanlage oder als CO₂-Wäscher ausgebildet.

Das so gereinigte Exportgas wird als Reduktionsgas über eine Reduktionsgas-Zuleitung 16 einem weiteren Reduktionsreaktor, der als Reduktionsschachtofen 17 ausgebildet ist und ebenso wie der erste Reduktionsschachtofen 1 im Gegenstromprinzip arbeitet, zugeführt. In diesem Schachtofen 17 wird teilchenförmiges Erz, das über die Erzzuleitung 18 zugeführt wird, direkt reduziert. Mit 19 ist eine Ausbringeinrichtung für im Schachtofen 17 aus dem Erz gebildeten Eisenschwamm bezeichnet.

Da das Exportgas für die CO₂-Reinigung auf ein hierfür erforderliches Temperaturniveau zu kühlen ist, wird es vor Einleitung in den weiteren Reduktionsschachtofen 17 einer Aufheizung unterzogen. Die Aufheizung erfolgt in zwei Stufen: Zunächst wird das gereinigte Exportgas in einer ersten Stufe einer indirekten Aufheizung unterzogen, wobei die hierzu dienende Heizeinrichtung 20 als Wärmetauscher ausgebildet ist. Der Wärmetauscher (Rekuperator) 20 weist einen Brenner 21 auf, dem als Brenngas ein sauerstoffhaltiges Gas, wie Luft, über eine Leitung 22 und gereinigtes Exportgas, das aus dem weiteren Reduktionsschachtofen 17 abgezogen und über eine Zweigleitung 23 zugeleitet wird, zugeführt wird. Die Erhitzung im Wärmetauscher 20 erfolgt auf eine vom Bündelmaterial gerade noch verträgliche Temperatur. Anschließend wird das in der ersten Stufe rekuperativ erwärmte Reduktionsgas in einer zweiten Stufe auf die für die Reduktion erforderliche Reduktionsgastemperatur weiter erhitzt, und zwar durch eine Teilverbrennung in der Nachverbrennungseinrichtung 24, in der ein Teil des von CO₂ gereinigten Exportgases, das über die Zweigleitung 16' der Reduktionsgaszuleitung 16 abgezweigt wird, unter Sauerstoffzuführung 25 verbrannt wird. Hierbei wird Sauerstoff hoher Reinheit verwendet, wodurch das Reduktionsgas die für die Reduktion im weiteren Reduktionsschachtofen 17 erforderliche Temperatur mit einer minimalen Menge an zu verbrennendem Exportgas erreicht. Der erforderliche Temperaturbereich liegt zwischen 600 und 900 °C.

Das aus dem Reduktionsschachtofen 17 über die Exportgas-Ableitung 26 abgezogene Exportgas wird ebenfalls einer Reinigung und Kühlung in einem Wäscher 27 unterzogen, um es von Staubpartikeln zu säubern und den Wasserdampfgehalt zu erniedrigen. Anschließend wird ein Teil des gereinigten Exportgases über die Zweigleitung 23 abgezweigt und dem Brenner 21 des Wärmetauschers 20 zugeführt. Diese Zweigleitung 23 wird über einen Wärmetauscher 28, der zwischen dem Reduktionsschachtofen 17 und dem Wäscher 27 angeordnet ist und von heißem Exportgas des weiteren Reduktionsprozesses durchströmt wird, geführt, wodurch dieser Teil des gereinigten Exportgases rekuperativ eine beträchtliche Temperaturerhöhung erfährt. Somit braucht dem Brenner 21 nur eine geringe Menge des Exportgases der weiteren Reduktionszone 29 des Reduktionsreaktors 17 zugeführt werden, da dieser Teil des Exportgases mit Hilfe der fühlbaren Wärme des aus dem Reduktionsschachtofen 17 abgezogenen Exportgases auf ein hohes Energieniveau gebracht wurde.

Ein weiterer Teil des im weiteren Reduktionsschachtofen 17 anfallenden Exportgases wird über einen Verdichter 30 ebenfalls der CO₂-Eliminierungsanlage 15 über eine Förderleitung 31, die in die Exportgas-Ableitung 5 mündet, zugeführt und steht dann ebenfalls der CO₂-Eliminierungsanlage 15 und anschließend als Recycle-Reduktionsgas dem weiteren Reduktionsprozeß zur Verfügung. Der für das erfindungsgemäße Verfahren nicht benötigte Teil des Exportgases des Reduktionsschachtofens 17 wird als Exportgas über die Exportgasleitung 26 anderen Verwendungszwecken zugeführt.

Das aus der CO₂-Eliminierungsanlage 15 abgeschiedene CO₂-haltige Abgas wird über eine Abgasleitung 32 zweckmäßig dem über die Zweigleitung 23 dem Brenner 21 des Wärmetauschers 20 zugeführten Teil des Exportgases zugemischt, und zwar vorteilhaft, bevor diese Zweigleitung 23 den Wärmetauscher 28 durchsetzt. In die Exportgas-Ableitung 26 kann auch eine von der Abgasleitung 32 abzweigende Zweigleitung 33, gegebenenfalls mit Entschwefelungseinrichtung 34, mit der ein Teil des CO₂-haltigen Abgases dem Exportgas zugemischt wird, münden.

Gemäß der in Fig. 1 dargestellten Variante wird das im Brenner 21 des Wärmetauschers 20 gebildete Rauchgas über eine Rauchgasableitung 35 abgeführt, wobei in der Rauchgasableitung 35 ein Wärmetauscher 36 zur Erhitzung von Sauerstoff vorgesehen ist. Dieser Sauerstoff wird über die Sauerstoffzuführung 25 dem in der Nachverbrennungseinrichtung 24 stattfindenden Teilverbrennungsprozeß zugeführt. Durch die Erhitzung des Sauerstoffs gelingt eine Minimierung des Sauerstoffverbrauchs und auch eine Minimierung des Verbrauchs an für die Teilverbrennung verwendetem Reduktionsgas.

Gemäß der in Fig. 2 dargestellten Verfahrensvariante wird mittels des im Brenner 21 des Wärmetauschers 20 gebildeten Rauchgases zusätzlich noch Luft mit Hilfe eines weiteren in der Rauchgasableitung vorgesehenen Wärmetauschers 37 erhitzt und diese erhitzte Luft dem Brenner 21 des Wärmetauschers 20 über die Leitung 22 zugeführt. Hierdurch läßt sich die Menge des dem Brenner 21 dieses Wärmetauschers 20 zugeführten Exportgases weiter verringern.

Gemäß der in Fig. 3 dargestellten Verfahrensvariante wird für die Teil Verbrennung in der Nachverbrennungseinrichtung 24 im Wärmetauscher 20 vorerhitztes Reduktionsgas - dieses wird über die Zweigleitung 16" abgezweigt - eingesetzt, so daß der Teil Verbrennung nicht nur über den zugeführten Sauerstoff fühlbare Wärme des im Brenner 21 des Wärmetauschers 20 gebildeten Rauchgases zur Verfügung gestellt wird, sondern auch über das für die Teilverbrennung vorgesehene Reduktionsgas. Dies ergibt eine optimale Ausnutzung von Restwärme, was sich nicht nur in einer besseren Reduktionsgasqualität niederschlägt, sondern auch in einer erhöhten Produktion.

Fig. 4 veranschaulicht eine vereinfachte Verfahrensvariante, bei der das dem Brenner 21 des Wärmetauschers 20 zugeführte und dem weiteren Reduktionsprozeß entstammende Exportgas ohne vorherige Erhitzung verwendet wird. Bei dieser Verfahrensvariante wird lediglich die im Rauchgas enthaltene fühlbare Wärme für die Sauerstofferhitzung des der Teilverbrennung zugeführten Sauerstoffs ausgenutzt.

In Fig. 5 ist eine Variante des in Fig. 1 dargestellten Verfahrens veranschaulicht, wobei sich das Verfahren gemäß Fig. 5 von dem Verfahren gem. Fig. 1 dadurch unterscheidet, daß das über die Zweigleitung 23 abgezweigte Exportgas nicht mehr über den Wärmetauscher 28 geführt wird, sondern direkt zum Brenner 21 des Wärmetauschers 20 geleitet wird. Hierdurch bleibt der Heizwert des abgezweigten Exportgases erhalten und dieses hochwertige Exportgas steht dem Brenner 21 als Stützbrenngas zur Verfügung. Da das in der Abgasleitung 32 abgeführte Abgas der CO₂-Eliminierungsanlage 15 nicht mehr mit dem über die Zweigleitung 23 abgezweigten Exportgas vermischt wird, sondern unvermischt im Wärmetauscher 28 erwärmt wird, erreicht es ein höheres Temperaturniveau; es wird separat vom abgezweigten Exportgas dem Brenner 21 zugeführt. Bei dieser Ausführungsform ergibt sich noch der Vorteil, daß der Druckverlust in der Zweigleitung 23 geringer ist als bei der in Fig. 1 dargestellten Variante, da diese Leitung 23 nicht mehr über den Wärmetauscher 28 führt. Zwar wird bei der in Figur 5 dargestellten Ausführungsform das aus der CO₂-Eliminierungsanlage 15 stammende Abgas nicht mehr durch das abgezweigte Exportgas aufgefettet, sodaß dessen Zündfähigkeit nicht erhöht wird, was aber durch die Verbesserung der Zündgrenzen dieses Abgases mittels der im Wärmetauscher 28 stattfindenden verbesserten Temperaturerhöhung in Kombination mit einem durch das abgezweigte Exportgas betriebenen Stützbrenner mehr als aufgewogen wird.

Gemäß der Fig. 6 dargestellten Variante des in Fig. 4 dargestellten erfindungsgemäßen Verfahrens wird ebenfalls das über die Leitung 23 abgezweigte Exportgas nicht mehr mit dem Abgas der CO₂-Eliminierungsanlage 15 vermischt, sondern beide Gase werden separat dem Brenner 21 der Heizeinrichtung 20 zugeführt, wobei wiederum das abgezweigte Exportgas eine Stützbrennfunktion übernimmt.

Die Erfindung beschränkt sich nicht auf die in der Figurenbeschreibung dargelegten Ausführungsbeispiele, sondern kann in verschiedener Hinsicht modifiziert werden. Beispielsweise ist es möglich, anstelle des im Festbettverfahren arbeitenden Schachtofens 1 auch eine Reduktion von Feinerz im Wirbelschichtverfahren vorzusehen, also den Schachtofen 1 durch einen oder mehrere Wirbelbettreaktoren zu ersetzen. Dies gilt auch für den weiteren Reduktionsprozeß, d.h., daß auch der Reduktionsschachtofen 17 durch Wirbelbettreaktoren, in denen Feinerz im Wirbelschichtverfahren reduziert wird, ersetzt werden kann.

Weiters kann es von Vorteil sein, wenn der Wärmetauscher 36 zur Erhitzung von Sauerstoff dem Wärmetauscher 20 vorgeschaltet ist, so daß die im Brenner 21 entstehenden Heißgase zunächst den Sauerstoff und erst danach das gereinigte Exportgas erhitzen. Hierdurch ist der Sauerstoff auf eine höhere Temperatur erhitzbar und kann daher in geringerer Menge zum Einsatz

kommen. Dies ergibt als zusätzlichen Vorteil, daß weniger CO und H₂ in der Nachverbrennungseinrichtung 24 umgesetzt werden, so daß die Verhältnisse CO/CO₂ und H₂/H₂O noch verbessert werden können.

An nachstehenden Beispielen ist die Verbesserung des CO/CO₂-Verhältnisses und des H₂/H₂O-Verhältnisses bei der Umsetzung in der Nachverbrennungseinrichtung 24 erläutert:

Bei einer Anlage gemäß Fig. 1, bei der jedoch der Wärmetauscher 36 zur Erhitzung von Sauerstoff dem Wärmetauscher 20 zur Erhitzung des Exportgases, wie oben beschrieben, vorgeordnet ist - d.h. das im Brenner 21 gebildete heiße Brenngas durchströmt zunächst den Wärmetauscher 36 und erst anschließend den Wärmetauscher 20 -, weist das aus der ersten Reduktionszone 4 stammende Exportgas unmittelbar vor Einleitung in den Wärmetauscher 20 eine Temperatur von 45°C auf. Ein Teil dieses Exportgases wird abgezweigt und mit dieser Temperatur der Nachverbrennungseinrichtung 24 zugeführt.

Im Wärmetauscher 36 auf 500°C vorgewärmter Sauerstoff wird über die Leitung 25 ebenfalls der Nachverbrennungseinrichtung 24 zugeleitet, in der durch Verbrennung ein Heißgas von 4.755°C gebildet wird. Dieses Heißgas wird in der Nachverbrennungseinrichtung 24 mit im Wärmetauscher 20 auf 514°C aufgewärmtem Exportgas vermischt, so daß letztendlich ein Reduktionsgas mit einer Temperatur von etwa 800°C entsteht, das über die Reduktionsgaszuleitung 16 dem weiteren Reduktionsschachtofen 17 zugeführt wird.

Gegenüber dem Stand der Technik, gemäß dem der Sauerstoff mit Raumtemperatur der Nachverbrennungszone zugeleitet wird, ergibt sich eine Qualitätssteigerung dadurch, daß weniger Sauerstoff der Nachverbrennungseinrichtung 24 zugeführt werden muß, wodurch bei der Verbrennung weniger CO und H₂ umgesetzt werden müssen. Hierdurch verbessert sich das CO/CO₂-Verhältnis um etwa 1,4 % und das H₂O-Verhältnis um etwa 3,3 %.

Bei einer Anlage gemäß Fig. 3 gelangt ebenfalls Exportgas mit einer Temperatur von 45°C in den Wärmetauscher 20 und wird dort auf eine Temperatur von 514°C erhitzt und mit dieser Temperatur der Nachverbrennungseinrichtung 24 zugeführt. Ein Teil des so erhitzten Exportgases wird über die Leitung 16" gemeinsam mit im Wärmetauscher 36 auf 250°C aufgeheizten Sauerstoff der Nachverbrennungseinrichtung 24 zugeführt und verbrannt. Hierbei bildet sich ein Heißgas mit einer Temperatur von 4.996°C, woraus ein Reduktionsgas mit einer Temperatur von 801°C resultiert.

Auch hierbei kann die zugeführte Sauerstoffmenge reduziert werden, und es ergibt sich ein CO/CO₂-Verhältnis, das gegenüber dem Stand der Technik um 3,2 % verbessert ist. Das H₂/H₂O-Verhältnis verbessert sich um 7,8 %.

Wird gemäß dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 der Wärmetauscher 36 dem Wärmetauscher 20 vorgeordnet, so daß die im Brenner 21 geführten Heißgase zunächst den Wärmetauscher 36 durchströmen und erst anschließend den Wärmetauscher 20, gelingt eine Erhitzung des Sauerstoffes auf 500°C, so daß dieser in seiner Menge für die Verbrennung in der Nachverbrennungseinrichtung 24 weiter verringert werden kann. Durch die Verbrennung eines Teil des auf 514°C erwärmten Exportgases mit dem so erhitzten Sauerstoff bildet sich Heißgas mit einer Temperatur von 5.051°C, das durch Vermischung mit dem restlichen auf 514°C erhitzten Exportgas ein Reduktionsgas mit einer Temperatur von 800°C und eine Verbesserung des CO/CO₂-Verhältnisses um 3,9 % ergibt. Das H₂O-Verhältnis verbessert sich um 8,9 %.

Nachfolgend ist der Vorteil der Erhitzung des über die Abgasleitung 32 von der CO₂-Elminierungsanlage 15 abgeschiedenen CO₂-haltigen Abgases im Wärmetauscher 28 erläutert, wobei jedoch im Wärmetauscher 28 ausschließlich CO₂-haltiges Abgas und kein über die Leitung 26 aus dem weiteren Reduktionsschachtofen 17 austretendes Exportgas erhitzt wird. Das aus der CO₂-Elminierungsanlage 15 abgeschiedene CO₂-haltige Abgas weist eine Temperatur von 45°C auf und wird in dem Wärmetauscher 28 zur Erhöhung der Zündfähigkeit erhitzt, u.zw. auf eine Temperatur von etwa 280°C. Eine derartige Erhitzung des Abgases ergibt den Vorteil, daß für eine Verbrennung desselben kein Exportgas des weiteren Reduktionsprozesses mehr zugeführt werden muß.

Das so auf 280°C erhitzte CO₂-haltige Abgas wird über die Leitung 23 dem Brenner 21 zugeführt und dort mit nicht vorgewärmter Luft, also Luft mit etwa 25°C, verbrannt. Es bildet sich dabei ein Heißgas mit einer Temperatur von 851°C, mittels dessen Hilfe im Wärmetauscher 20 Exportgas aus dem ersten Reduktionsprozeß erwärmt werden kann. Durch diese Erhitzung des CO₂-haltigen Abgases über Zündtemperatur gelingt es, das Exportgas, das im weiteren Reduktionsprozeß anfällt, vollständig über die Leitung 31 zu rezirkulieren und somit voll für die Direktreduktion auszunutzen.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Herstellung von flüssigem Roheisen oder flüssigen Stahlvorprodukten und Eisenschwamm aus von Eisenerz, vorzugsweise in Stück- und/oder Pelletform, und gegebenenfalls Zuschlägen gebildeten Einsatzstoffen, wobei die Einsatzstoffe in einer ersten Reduktionszone (4) zu Eisenschwamm direkt reduziert werden, der Eisenschwamm in einer Einschmelz-Vergasungszone (10) unter Zufuhr von Kohlenstoffträgern und sauerstoffhaltigem Gas erschmolzen und ein CO- und H₂-haltiges Reduktionsgas erzeugt wird, welches in die erste Reduktionszone (4) eingeleitet, dort umgesetzt und als Exportgas abgezogen wird, und wobei das abgezogene Exportgas einer CO₂-Eliminierung sowie einer Aufheizung unterzogen wird und als zumindest weitgehend CO₂-freies Reduktionsgas mindestens einer weiteren Reduktionszone (29) zur Direktreduktion von weiterem Eisenerz zugeführt und nach Umsetzung mit dem Eisenerz als Exportgas abgezogen wird, dadurch gekennzeichnet, daß für die Aufheizung des aus der ersten Reduktionszone (4) stammenden Exportgases Wärme des der weiteren Reduktionszone (29) austretenden Exportgases eingesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Aufheizung dem aus der weiteren Reduktionszone (29) abgezogenen Exportgas im heißen, ungewaschenen Zustand fühlbare Wärme rekuperativ entzogen wird und dem aus der ersten Reduktionszone (4) stammenden Exportgas über einen Wärmeträger übermittelt wird (Fig. 1 bis 3).
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmeträger von gewaschenem Exportgas der weiteren Reduktionszone (29) gebildet ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Aufheizung des aus dem ersten Reduktionsprozeß stammenden Exportgases aus der weiteren Reduktionszone (29) abgezogenes Exportgas nach einer Wäsche rekuperativ von ungewaschenem Exportgas der weiteren Reduktionszone (29) erhitzt und verbrannt wird, wobei die Rauchgase das aus der ersten Reduktionszone (4) stammende Exportgas rekuperativ erhitzen (Fig. 1 bis 3).
5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine Voraufheizung des aus der ersten Reduktionszone (4) stammenden Exportgases durch Verbrennung von aus der weiteren Reduktionszone (29) stammendem Exportgas und durch rekuperativen Wärmeübergang der in den Rauchgasen enthaltenen Wärme erfolgt und anschließend eine weitere Aufheizung durch eine Teilverbrennung des aus der ersten Reduktionszone (4) stammenden Exportgases erfolgt, wobei dem Teilverbrennungsprozeß die beim weiteren Reduktionsprozeß nicht verbrauchte Wärmeenergie zugeführt wird (Fig. 1 bis 4).
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß für die Teilverbrennung eingesetzter Sauerstoff bzw. eingesetztes sauerstoffhaltiges Gas einer rekuperativen Erhitzung unterworfen wird, und zwar durch im Exportgas, stammend aus dem weiteren Reduktionsprozeß, enthaltene chemisch gebundene und/oder fühlbare Wärme (Fig. 1 bis 4).
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Teil des aus der weiteren Reduktionszone (29) abgezogenen Exportgases verbrannt wird und daß das dabei entstehende Rauchgas fühlbare Wärme an den Sauerstoff bzw. das sauerstoffhaltige Gas rekuperativ abgibt (Fig. 1 bis 4).
8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 5 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil des voraufgeheizten, aus der ersten Reduktionszone (4) abgezogenen Exportgases als Brenngas zur Verbrennung desselben zusammen mit Sauerstoff bzw. einem sauerstoffhaltigen Gas eingesetzt wird (Fig. 3).
9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 4 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zur Verbrennung von aus der weiteren Reduktionszone (29) stammendem Exportgas diesem Exportgas Luft beigemischt wird, die mit bei der Verbrennung von aus der weiteren

Reduktionszone (29) abgezogenem Exportgas entstehendem Rauchgas rekuperativ erhitzt wird (Fig. 2, 3).

10. Anlage zur Durchführung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, mit einem ersten Reduktionsreaktor (1) für Eisenerz, vorzugsweise in Stück- und/oder Pelletform, einem Einschmelzvergaser (7), einer den Einschmelzvergaser (7) mit dem ersten Reduktionsreaktor (1) verbindenden Zuleitung (3) für ein Reduktionsgas, einer den ersten Reduktionsreaktor (1) mit dem Einschmelzvergaser (7) verbindenden Förderleitung (6) für das im ersten Reduktionsreaktor (1) gebildete Reduktionsprodukt, mit einer vom ersten Reduktionsreaktor (1) ausgehenden Exportgas- Ableitung (5), mit in den Einschmelzvergaser (7) mündenden Zuleitungen (8,9) für sauerstoffhaltige Gase und Kohlenstoffträger, einem am Einschmelzvergaser (7) vorgesehenen Abstich (11, 12) für Roheisen und Schlacke, und mit mindestens einem zusätzlichen Reduktionsreaktor (17) zur Aufnahme von weiterem Eisenerz, einer Reduktionsgas-Zuleitung (16) zu diesem Reduktionsreaktor (17), einer Exportgas-Ableitung (26) aus diesem weiteren Reduktionsreaktor (17) und einer Austragsvorrichtung (19) für das in diesem weiteren Reduktionsreaktor (17) gebildete Reduktionsprodukt, wobei die Exportgas-Ableitung (5) des ersten Reduktionsreaktors (1) in eine CO₂-Eliminierungsanlage (15) mündet, von der die Reduktionsgas-Zuleitung (16) des zusätzlichen Reduktionsreaktors (17) ausgeht und über eine Heizeinrichtung (20, 24) für das von CO₂ gereinigte Exportgas in den zusätzlichen Reduktionsreaktor (17) mündet, dadurch gekennzeichnet, daß die Exportgas-Ableitung (26) des weiteren Reduktionsreaktors (17) in einen Wärmetauscher (28) mündet und von diesem zu einem Wäscher (27) führt, daß nach diesem Wäscher (27) eine Zweigleitung (23) von der Exportgas-Ableitung (26) abzweigt, in den Wärmetauscher (28) zwecks rekuperativer Aufheizung des abgezweigten gewaschenen Exportgases durch ungewaschenes Exportgas mündet und von diesem ausgehend der Heizeinrichtung (20) zugeführt ist (Fig. 1 bis 3).
11. Anlage nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Zweigleitung (23) in einen Brenner (21) der Heizeinrichtung (20) mündet und daß das Rauchgas des Brenners (21) mittels einer Rauchgasableitung (35) über einen Wärmetauscher (36) zur rekuperativen Erhitzung eines der Heizeinrichtung (24) über eine Leitung (25) zugeführten sauerstoffhaltigen Gases oder Sauerstoffes geführt ist (Fig. 1 bis 3).
12. Anlage nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Zweigleitung (23) in einen Brenner (21) der Heizeinrichtung (20) mündet und daß das Rauchgas des Brenners (21) mittels einer Rauchgasableitung (35) über einen Wärmetauscher (37) zur rekuperativen Erhitzung eines sauerstoffhaltigen Gases, wie Luft, zugeführt ist, wobei die erhitzte Luft dem Brenner (21) der Heizeinrichtung (20) über eine Leitung (22) zugeführt ist (Fig. 2, 3).
13. Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine Zweigleitung (16'') von der Reduktionsgas-Zuleitung (16) nach dem der Aufheizung des dem weiteren Reduktionsreaktor (17) zugeleiteten Reduktionsgases dienenden Wärmetauscher (20) ausgeht und in eine Nachverbrennungseinrichtung (24) zusammen mit einer Sauerstoff oder ein sauerstoffhaltiges Gas zuführenden Leitung (25) mündet (Fig. 3).
14. Anlage zur Durchführung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 13, mit einem ersten Reduktionsreaktor (1) für Eisenerz, vorzugsweise in Stück- und/oder Pelletform, einem Einschmelzvergaser (7), einer den Einschmelzvergaser (7) mit dem ersten Reduktionsreaktor (1) verbindenden Zuleitung (3) für ein Reduktionsgas, einer den ersten Reduktionsreaktor (1) mit dem Einschmelzvergaser (7) verbindenden Förderleitung (6) für das im ersten Reduktionsreaktor (1) gebildete Reduktionsprodukt, mit einer vom ersten Reduktionsreaktor (1) ausgehenden Exportgas- Ableitung (5), mit in den Einschmelzvergaser (7) mündenden Zuleitungen (8, 9) für sauerstoffhaltige Gase und Kohlenstoffträger, einem am Einschmelzvergaser (7) vorgesehenen Abstich (11,12) für Roheisen und Schlacke, und mit mindestens einem zusätzlichen Reduktionsreaktor (17) zur Aufnahme von weiterem Eisenerz, einer Reduktionsgas-Zuleitung (16) zu diesem Reduktionsreaktor (17), einer Exportgas-Ableitung (26) aus diesem weiteren Reduktionsreaktor (17) und einer Austragsvorrichtung (19) für das in diesem weiteren Reduktionsreaktor (17) gebildete Reduktionsprodukt, wobei die Exportgas-Ableitung (5)

- des ersten Reduktionsreaktors (1) in eine CO₂-Eliminierungsanlage (15) mündet, von der die Reduktionsgas-Zuleitung (16) des zusätzlichen Reduktionsreaktors (17) ausgeht und über eine Heizeinrichtung (20, 24) für das von CO₂ gereinigte Exportgas in den zusätzlichen Reduktionsreaktor (17) mündet, dadurch gekennzeichnet, daß von der Exportgas-Ableitung (26) des weiteren Reduktionsreaktors (17) eine Zweigleitung (23) in einen Brenner (21) der Heizeinrichtung (20) mündet und daß das Rauchgas des Brenners (21) mittels einer Rauchgasableitung (35) über einen Wärmetauscher (36) zur rekuperativen Erhitzung eines sauerstoffhaltigen Gases, wie Luft, oder von Sauerstoff geführt ist und das erhitze sauerstoffhaltige Gas bzw. der Sauerstoff zur Heizeinrichtung (24) über eine Leitung (25) geführt ist (Fig. 4).
15. Anlage nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das erhitze sauerstoffhaltige Gas bzw. der erhitze Sauerstoff in eine Nachverbrennungseinrichtung (24) der Heizeinrichtung zusammen mit über eine von der Reduktionsgaszuleitung (16) ausgehende Zweigleitung (16', 16'') zugeleitetem Reduktionsgas mündet (Fig. 4).
16. Verwendung von Roheisen- oder Stahlvorprodukten, hergestellt nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, zur Erzeugung eines handelsfähigen Produkts, wie Walzgut.

Hiezu 6 Blatt Zeichnungen

