



Ausschliessungspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

PATENTSCHRIFT

ISSN 0433-6461

(11)

208 373

Int.Cl.³

3(51) C 22 B 5/12

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) AP C 22 B/ 2455 006
(31) 326,571

(22) 02.12.82
(32) 02.12.87

(44) 02.05.84
(33) MX

(71) siehe (73)

(72) DOMÍNGUEZ-AHEDO, CARLOS; LÓPEZ-RAMOS, HECTOR; GYVES, ALEJANDRO DE;
VILLARREAL-TREVINO, JUAN A.; MX;

(73) HYLSA SA, MONTERREY, MX

(54) VERFAHREN ZUM REDUZIEREN VON TEILCHENFÖRMIGEM METALLERZ

(57) Es wird ein Verfahren gezeigt, mit dem man die Reduktionseffizienz und Wirtschaftlichkeit bei der Reduktion von teilchenförmigen Metallerzen, z. B. Eisenerz, in einem vertikalen Schachtreaktor mit Bewegtbett, erhöhen kann. Der Schachtreaktor (10) hat eine Reduktionszone (12) in welcher ein erwärmtes Reduktionsgas durch einen Teil des Erzbettes fließt, um das dort befindliche Metallerz zu Metall, z. B. Schwammeisen, zu reduzieren. Die verbesserte Effizienz und Wirtschaftlichkeit erzielt man durch ein integriertes Reduktionssystem, bei welchem ein üblicher Reformiergas verwendet wird, ohne daß man das Reformiergas vor der direkten Einführung in den Reduktionsreaktor (10) als Reduktionsgas verbessern muß. Fig. 1

245500 6

Verfahren zum Reduzieren von teilchenförmigem Metall
erz

ANWENDUNGSGEBIET DER ERFINDUNG

Die Erfindung betrifft die direkte Gasreduktion von körnigen Erzen zu Schwammetallen in feinteiliger Form in einem vertikalen Bewegtbett-Schachtreaktor und insbesondere ein Verfahren zur Verbesserung der Gesamteffizienz und Wirtschaftlichkeit der Erzre-

5 duktion in einem solchen Reaktor. Durch die Erfindung werden ein geeignetes kohlenwasserstoffhaltiges Gas und Wasserdampf in einer üblichen Reformierungseinheit reformiert und direkt dem Reduktionsreaktor als

10 Reduziergas zugeführt. In der nachfolgenden Beschreibung wird das Verfahren beispielhaft für die Reduktion von Eisenerz in Schwammeisen beschrieben. Aus der weiteren Beschreibung geht jedoch für den Fachmann

15 hervor, dass die Erfindung in gleicher Weise auch für andere Erze als Eisenerz anwendbar ist.

CHARAKTERISTIK DER BEKANNTEN TECHNISCHEN LÖSUNGEN

Bei einem typischen Eisenerz-Gasreduktionssystem mit einem senkrechten Schachtreaktor mit einem Bewegtbett, wie sie in den US-PSen 3 765 872, 3 779 741 und 4 216 011 beschrieben werden, wird Eisenerz reduziert, indem man es mit einem reduzierenden Gas mit einem verhältnismässig hohen Reduktionspotential und einer entsprechend niedrigen Oxidationsmittelkonzentration in Berührung bringt. Solche direkten Reduktionssysteme wenden senkrechte Schachtreaktoren mit Bewegtbetten an, die eine Reduktionszone im oberen Teil und eine Kühlzone im unteren Teil haben. Das Eisenerz wird am Kopf des Reaktors eingeführt und durch die Reduktionszone nach unten fliessen gelassen, in welcher das Erz mit einem erhitzten Reduktionsgas, das sich hauptsächlich aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff zusammensetzt, in Berührung kommt. Das in der Reduktionszone reduzierte Erz fliesst nach unten in und durch die Kühlzone, in welcher es in kontrollierter Weise gekühlt und aufgekohlt wird, mittels eines gasförmigen Kühlmittels, bevor es dann am Boden des Reaktors herausgeführt wird. Das verbrauchte Reduktionsgas, welches die Reduktionszone des Reaktors verlässt, wird in einem Abschreckkühler entwässert und erforderlichenfalls durch die Entfernung von Kohlendioxid aufgearbeitet. Ein grosser Teil dieses gekühlten verbesserten Gasstromes wird wieder erwärmt und in die Reduktionszone des Reaktors unter Ausbildung einer Reduktionsgasschleife im Kreislauf geführt. In ähnlicher Weise wird ein Teil des Kühlgases aus der Kühlzone des

Reaktors abgezogen, gekühlt und in die Kühlzone unter Ausbildung einer Kühlschleife zurückgeführt.

Das in die Reduktionszone des Reaktors eingeführte
5 Reduktionsgas wird typischerweise in einer üblichen
katalytischen Reformiereinheit, in welche Wasserdampf
und ein geeignetes kohlenwasserstoffhaltiges Gas ein-
geführt wird, erzeugt. In einem Reduktionssystem unter
Verwendung eines üblichen Reformers muss das refor-
10 mierte Gas, bevor es in den Reaktor als Reduktions-
gas eingeführt werden kann, entwässert werden, um eine
unerwünschte Ansammlung von überschüssigen Oxidations-
mitteln (nämlich Kohlendioxid und Wasser) im Reduk-
tionsgas zu vermeiden. Die Konzentration der Oxida-
15 tionsmittel kann überwacht werden, indem man das re-
formierte Gas in einen Abschreckkühler einführt, wo-
durch das Wasser entfernt wird und das Gas dann auf
die gewünschte Reduktionstemperatur wieder erhitzt,
bevor man es in den Reaktor einführt.

20 Bei gewissen anderen bekannten Reduktionssystemen,
die sich in den US-PSen 3 617 227, 3 748 120,
3 749 386, 3 764 123 und 3 905 806 beschrieben wer-
den, kann das in dem Reformier erzeugte Reduktions-
25 gas direkt dem Reduktionsreaktor zugeführt werden,
ohne dass man Wasser aus dem reformierten Gas, bevor
man das Gas in den Reaktor einführt, entfernt. Um
bei einem solchen Verfahren die Ansammlung von uner-
wünschten Oxidationsmitteln zu vermeiden, ist es we-
30 sentlich, relativ teure und kompliziertere Refor-
miereinheiten zu verwenden, die in spezieller Weise

gebaut sind und die so konstruiert sein müssen, dass sie unter verhältnismässig strengen und engen Betriebsbedingungen wirtschaftlich betrieben werden können. Eine solche Reformiereinheit kann man am besten als "stöchiometrischen Reformer" bezeichnen, in welchem das darin reformierte Gas eine niedrige Konzentration an Oxidationsmitteln aufweist. Mit anderen Worten ist das aus dem Reformer austretende Gas für die direkte Verwendung als Reduktionsgas geeignet, ohne dass man das Gas zur Entfernung von Wasser vor dem Einspritzen in den Reaktor kühlen muss. Um die Ansammlung von überschüssigen Mengen an Oxidationsmitteln in dem reformierten Gas zu vermeiden und auch zur Vermeidung von unerwünschten Kohlenstoffabscheidungen auf dem Katalysator, muss der stöchiometrische Reformer bei einer verhältnismässig hohen Temperatur im Bereich von etwa 900°C oder mehr betrieben werden, wobei diese Betriebstemperatur wesentlich höher ist als bei üblichen oder "nicht-stöchiometrischen" Reformiereinheiten. Die Gesamtkapitalkosten einer stöchiometrischen Reformiereinheit sind wesentlich höher im Vergleich zu einem üblichen Reformer, weil die Baumaterialien gegen extreme Hitze beständig sein müssen. Darüber hinaus muss man beim Arbeiten bei derartig hohen Temperaturen spezielle Schritte vornehmen, um sicherzustellen, dass ein hochtemperaturbeständiger Katalysator verwendet wird, und dadurch werden die Gesamtkosten der Reformiereinheit weiter kompliziert und erhöht.

ZIEL DER ERFINDUNG

- Durch die vorliegende Erfindung wird ein verbessertes Verfahren zur gasförmigen Reduktion von Eisenerz gezeigt, bei welchem die Gesamteffizienz und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens erheblich verbessert wird. Bei dem erfindungsgemässen Verfahren werden die jeweiligen Vorteile der beiden vorher beschriebenen Verfahren in wirksamer Weise vereint, nämlich die Vorteile von solchen Verfahren, bei denen ein nicht-stöchiometrischer Reformer und ein Abschreckkühler verwendet werden, als auch die Vorteile, die man bei Verwendung eines stöchiometrischen Reformers, aus dem das reformierte Gas direkt in den Reaktor eingeführt werden kann, erzielt.
- Es ist infolgedessen eine Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Reduktion von Eisenerz zu Schwammeisen zu zeigen, bei dem man die Gesamtverfahrenseffizienz, Wirtschaftlichkeit und Betriebsflexibilität verbessern kann.
- Ein weiteres Ziel der Erfindung ist es, eine zuverlässige Methode zur Reduktion von Metallerz zu zeigen, bei welcher man einen üblichen, nicht-stöchiometrischen Reformer verwenden kann, um frisches Reduktionsgas zu erzeugen, und wobei man gleichzeitig die Notwendigkeit, das reformierte Gas vor dessen Verwendung als Reduktionsgas in dem Reaktor aufzuwerten, eliminiert.

Weitere Vorteile und Ziele der Erfindung sind für den Fachmann aus der nachfolgenden Beschreibung ersichtlich.

5

DARLEGUNG DES WESENS DER ERFINDUNG

Bei der Direktreduktion eines Metallerzes in einem
10 Bewegtbettreaktor wird durch die Gesamtkonzentration an Oxidationsmitteln (z.B. Wasser und Kohlendioxid) die in dem Reduktionsgas vorhanden sind, in einem grossen Masse die Reduktionseffizienz des Reduktionsgases bestimmt. Deshalb ist die wirksamste
15 Konzentration an Wasser, die in dem Reduktionsgas, welches dem Reaktor zugeführt wird, noch toleriert werden kann, von der Menge des vorhandenen Kohlendioxids abhängig. Es wurde festgestellt, dass unter normalen Betriebsbedingungen die maximale akzeptierbare
20 Konzentration an Oxidationsmitteln in dem Reduktionsgas, welches dem Reaktor zugeführt wird, im Bereich von 10 bis 16 Vol.% liegt. Weiterhin soll die Wasserkonzentration 6 bis 12 Vol.% nicht übersteigen, um sicherzustellen, dass man das wirksamste
25 Reduktionspotential für das Reduktionsgas erzielt. Wenn in einer stabilen Betriebsweise Kohlendioxid von dem verbrauchten Reduktionsgas, welches in den Reaktor zurückgeführt wird, entfernt wird, dann kann man die Konzentration an Kohlendioxid in dem dem Reaktor
30 wieder zugeführten Reduktionsgas auf einen Bereich von 3 bis 4 Vol.% einstellen. Die tolerierbare

Wasserkonzentration kann man dann aus der Menge der Gesamtoxidationsmittel, die in dem Reduktionsgas toleriert werden, d.h. 10 bis 16 Vol.% abzüglich der Menge des vorhandenen Kohlendioxids, bestimmen.

5

Wie vorher erwähnt, wird bei den bekannten Eisenerz-reduktionsverfahren, wie es beispielsweise in US-PS 3 765 872 beschrieben wird, das aus dem Reformers abfließende Gas in einem Abschreckkühler entwässert, bevor es mit dem in den Reaktor zurückgeführten Reduktionsgas, das gleichfalls entwässert und gekühlt wurde, kombiniert wird. Dieser kombinierte Strom wird dann auf die gewünschte Reduktionstemperatur in einer gewünschten Heizvorrichtung vor dem Einspritzen in den Reaktor erwärmt. Bei diesem Verfahren, bei dem ein nicht-stöchiometrischer Reformer verwendet wird, wird eine ausreichende Menge an Wasser aus dem Reformersabgasstrom in dem Abschreckkühler entfernt, um die Wasserkonzentration auf ein annehmbares Niveau von annähernd 1 bis 2 Vol.% zu erniedrigen. Bei der Verwendung eines stöchiometrischen Reformers ohne eine Wasserentfernungsstufe, hat das dem Reaktor zugeführte reformierte Gas eine maximale Wasserkonzentration von etwa 6 Vol.%. Bei einem typischen stöchiometrischen Reformer muss die Betriebstemperatur bei etwa 935°C liegen und das Wasserdampf-zu-Kohlenstoff-Molverhältnis in dem dem Reformer zugeführten Gas liegt bei etwa 1,2, um eine Wasserkonzentration von 6 % zu gewährleisten.

30

Bei dem neuen erfindungsgemässen Verfahren kann ein

üblicher nicht-stöchiometrischer Reformers verwendet werden, ohne eine Wasserentfernungsstufe, indem man das aus dem Reformer abfliessende Gas mit dem zum Reaktor im Kreislauf geführten Gas, nachdem der Kreislaufgasstrom durch die Entfernung von Kohlendioxid und Wasser verbessert und in einer geeigneten Heizeinheit erwärmt wurde, vereinigt. Die Kreislauf- bzw. Zirkulationsrate des verbrauchten Reduktionsgases wird so ausgewählt, dass die maximale Menge an Oxidationsmittel in dem vereinigten Reduktionsgasstrom, die dem Reaktor zugeführt wird, 16 Vol.% nicht übersteigt.

Für den Fachmann ist ersichtlich, dass, weil Reformer typischerweise so konstruiert sind, dass sie bei einer bestimmten Temperatur betrieben werden können, es schwierig ist, den genauen Bereich der wirksamen Betriebstemperaturen zu spezifizieren. Es wurde festgestellt, dass man gemäss der vorliegenden Erfindung den nicht-stöchiometrischen Reformer sehr erfolgreich bei einer Temperatur im Bereich von 850°C betreiben kann. Weiterhin liegt der wirksamste Bereich der Wasserdampf-zu-Kohlenstoff-Verhältnisse in dem dem Reformer zugeführten Strom bei 1,8 bis 3,0. Das am meisten wirksame Zirkulationsverhältnis, das als das Verhältnis der Menge des im Kreislauf geführten verbrauchten Reduktionsgases zu der Menge an frisch reformiertem Gas aus dem nicht-stöchiometrischen Reformer definiert ist, liegt im Bereich von 1,5 bis 3,0. Es wurde weiterhin festgestellt, dass man durch sorgfältige Auswahl und Kontrolle des Wasserdampf-zu-Kohlenstoff-Molverhältnisses in dem dem Reformer zugeführten Gas,

der Betriebstemperatur des Reformers, der Temperatur
des im Kreislauf geführten verbrauchten Reduktions-
gases und des Zirkulationsverhältnisses die Gesamt-
reduktionseffizienz und die Wirtschaftlichkeit des
5 Verfahrens erheblich erhöhen kann.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL

10

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung eines
Schwammeisen-Produktionssystems, in wel-
cher eine übliche, nicht-stöchiometrische
Reformiereinheit verwendet wird und in
15 welcher die Gesamteffizienz und Wirtschaft-
lichkeit des Verfahrens maximalisiert wird,
indem man das abströmende Gas aus dem Re-
former mit dem verbesserten Kreislaufgas
kombiniert und den kombinierten Gasstrom
20 direkt in den Reaktor als Reduktionsgas ein-
führt.

25

Fig. 2 ist eine schematische Darstellung einer
bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,
in welcher der kombinierte Gasstrom in
einer zusätzlichen Heizvorrichtung vor dem
Einleiten in den Reaktor als Reduktions-
gas weiter aufgeheizt wird.

30

Fig. 3 ist eine grafische Darstellung der in dem
aus dem Reformer abfliessenden Gas enthal-
tenen Wassermenge (in %) als Funktion der

Temperatur des aus dem Reformer abströmenden Gases (in °C) und dem Wasserdampf-zu-Kohlenstoff-Molverhältnis in der Reformerzufuhr.

5

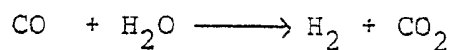
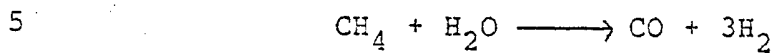
Die Ziele und Vorteile der Erfindung werden am besten unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 3 verstanden. Fig. 1 ist eine schematische Darstellung eines Direktreduktionssystems, mit welchem man das
10 erfindungsgemässe Verfahren zur Direktreduktion von Eisenerz zu Schwammeisen durchführen kann.

In Fig. 1 bedeutet die Ziffer 10 allgemein einen vertikalen Schachtreaktor mit Bewegtbett mit einer
15 Reduktionszone 12 im oberen Teil und einer Kühlzone 14 im unteren Teil. Das zu reduzierende Eisenerz wird am Kopf des Reaktors 10 durch den Reaktoreinlass 16 aufgegeben und Schwammeisen wird am Boden des Reaktors 10 durch den Reaktorauslass 18 entfernt.

20

Im linken Teil der Fig. 1 wird frisches Reduktionsgas im Reformer 30, der ein üblicher nicht-stöchiometrischer Reformer der vorher erwähnten Art ist, erzeugt. Bei der in Fig. 1 beschriebenen Ausführungsform werden Naturgas und Wasserdampf vorerhitzt,
25 indem man sie durch Heizschlangen im Schachtteil 32 des Reformers fliessen lässt. Die Mischung aus vorerhitztem Naturgas und Wasserdampf lässt man dann über ein erhitztes Katalysatorbett im Katalysatorteil
30 34 des Reformers strömen, worin die Mischung dann in ein Gas überführt wird, das hauptsächlich aus

Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Wasserdampf besteht, gemäss den folgenden Reaktionen:



- 10 Das aus dem Reformer abströmende Gas enthält auch alles nicht-umgesetzte Wasser.

Die Betriebscharakteristika des Reformers werden in Fig. 3 gezeigt und zwar als Funktion der Wasserkonzentration und der Temperatur des aus dem Reformer abgeströmten Gases und dem Wasserdampf-zu-Kohlenstoff-Molverhältnis in dem dem Reformer zugeführten Gas. Der schattierte Teil in Fig. 3 zeigt den thermodynamischen Bereich, in welchem die Tendenz zu einer Kohlenstoffablagerung auf den Katalysatorrohren des Reformers unakzeptabel hoch ist, so dass eine Korrosion der Rohre und eine Katalysatorvergiftung in der Reformiereinheit stattfindet. Für den Fachmann ist es weiterhin ersichtlich, dass die Temperatur an der Katalysatorrohrwandung die Temperatur des reformierten Gases um annähernd 100°C übersteigen muss, um eine wirksame Wärmeübertragungsrate auf das Gas zu erzielen. Bei der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform beträgt die Temperatur des aus dem Reformer abfliessenden Gases 850°C und dies bedeutet, dass man Baumaterialien verwendet, die Betriebstemperaturen von

15
20
25
30

wenigstens 950°C aushalten. Werden in dem Reformers höhere Betriebstemperaturen erforderlich, wie im Falle eines stöchiometrischen Reformers, so müssen die für die Katalysatorrohrwandungen verwendeten
5 Legierungen und auch der Katalysator selbst entsprechend hochwertig sein, um Temperaturen von wenigstens 1.050°C auszuhalten.

Nach dem Verlassen des Reformers 30 fließt das reformierte Gas durch das Rohr 36 zu einem Mischpunkt mit dem verbesserten Reduktionsgas-Kreislaufstrom.
10 Bei dem in Fig. 1 gezeigten System bewirkt das durch die Reduktionszone 12 des Reaktors strömende Reduktionsgas die Reduktion des darin enthaltenen Erzes und das verbrauchte Reduktionsgas verlässt den Reaktor durch den Abgabeanschluss 52 und fließt
15 durch das Rohr 53 in einen wassergekühlten Abschreckkühler 54. Nach der Entfernung des Wassers aus dem Gasstrom im Abschreckkühler 54 verlässt der entwässerte Gasstrom diesen Kühler durch die Leitung 55. Das Kreislaufgas fließt durch die Leitung 56 in den Kompressor 37, der durch das Regulierventil 60 gesteuert wird. Das komprimierte Kreislaufgas fließt dann durch die Leitung 43 und wird in die Kohlendioxid-Entfernungseinheit 40 eingegeben, in welcher das Kreislaufgas durch die Absorption von Kohlendioxid verbessert wird. Das verbesserte Kreislaufgas tritt aus der Kohlendioxid-Entfernungseinheit 40 durch die Leitung
25 44 aus und in den Erhitzer 50 ein, in welchem es dann auf eine Temperatur im Bereich von 700 bis 1.100°C erwärmt wird, in Abhängigkeit von der gewünschten

30

Temperatur des dem Reaktor zuzuführenden Reduktionsgases. Einen Teil des Kreislaufgasstroms kann man durch die Leitung 55 zur Leitung 58 mit einem Fliesskontrollventil 66 zu einem geeigneten Verwendungspunkt ableiten.

Das erwärmte Kreislaufgas aus dem Erhitzer 50 fliesst durch die Leitung 46 und wird mit dem frisch reformierten Reduktionsgas, das durch die Leitung 36 fliesst, kombiniert. Der kombinierte Gasstrom fliesst durch die Leitung 48 und wird in den Reaktor bei einer Temperatur im Bereich von 700 bis 1.000°C unter Ausbildung einer Reduktionsgaskreislaufschleife eingegeben.

Das reduzierte Erz fliesst durch den Reaktor 10 nach unten und wird mittels eines geeigneten Kühlgases in der Kühlzone 14 des Reaktors gekühlt. Im rechten unteren Teil der Fig. 1 wird Ergänzungskühlgas in das System durch die Leitung 80, die mit einer automatischen Fliessüberwachungseinrichtung versehen ist, eingeleitet. Eine grosse Anzahl von Kühlgasen kann verwendet werden und die Auswahl hängt von dem Grad der Aufkohlung und der erwünschten Abkühlung ab.

Das durch die Leitung 80 fliessende Kühlgas wird in die Kühlzone 14 des Reaktors aus der Leitung 83 eingeleitet und nach oben durch die Kühlzone strömen gelassen, um das dort vorhandene Erz zu kühlen und aufzukohlen. Das Kühlgas verlässt den Reaktor durch die Leitung 84 und fliesst in den Abschreckkühler 86. Das gekühlte Gas verlässt den Abschreckkühler 86 und

fliesst durch die Leitung 88 zum Kompressor 90, der durch ein Regulierventil 92 eingestellt wird. Das komprimierte Kühlgas fliesst dann durch die Leitung 94 und vereint sich mit frischem Kühlgas aus der Leitung 80 und der kombinierte Strom wird dann in die Kühlzone 14 des Reaktors unter Ausbildung einer Kühlgasschleife im Kreislauf geführt.

Bei der Ausführungsform gemäss Fig. 2 handelt es sich im wesentlichen um das gleiche System wie in Fig. 1 und deshalb werden nur die Unterschiede zwischen den Systemen von Fig. 1 und 2 beschrieben. In dem Reduktionssystem der Fig. 1 beträgt die bevorzugte Gastemperatur des aus dem Reformers strömenden Gases 850°C. Um das gewünschte Reduktionspotential des in die Reduktionszone des Reaktors eingeführten Reduktionsgases zu erzielen, soll die Temperatur des Reduktionsgases im Bereich von 700 bis 1.000°C und vorzugsweise 830 bis 950°C liegen. Bei solchen Situationen, bei denen man bevorzugt mit einer Reduktionsgastemperatur oberhalb 950°C arbeitet, benötigt man eine Heizvorrichtung 50, um den Kreislaufgasstrom auf eine Temperatur, die erheblich oberhalb 950°C liegt, zu erwärmen und um sicherzustellen, dass das in den Reaktor eingeführte Reduktionsgas, das durch Kombinieren des Kreislaufgasstroms und des frisch reformierten Gases erzeugt wurde, die gewünschte Einlasstemperatur hat. Da Gaserhitzer, die bei Temperaturen oberhalb 1.000°C arbeiten müssen, erheblich teurer sind als übliche Heizvorrichtungen, die bei einer Temperatur von etwa 950°C arbeiten, ist es

vorteilhaft, einen zusätzlichen Erhitzer zu verwenden, um dadurch die zusätzliche Wärme, die benötigt wird, um den bereits erwärmten Kreislaufgasstrom und den Strom des frisch reformierten Gases auf eine Temperatur von oberhalb 950°C zu erhitzen, bevor sie in den Reaktor eingeführt werden, zur Verfügung zu stellen. Ein weiterer Vorteil, der sich durch eine Zusatzheizvorrichtung ergibt, besteht darin, dass das Verfahren flexibler wird und auch für solche Situationen anwendbar ist, bei denen der Betrieb der primären Heizvorrichtung oder des Reformers für die Kompensation von irgendwelchen Verfahrensstörungen modifiziert werden muss.

In Fig. 2 besteht der Reaktor 210 aus einer Reduktionsszone 212 und einer Kühlzone 214, in ähnlicher Weise wie die Zonen 12 und 14 von Fig. 1. Das durch die Reduktionszone 212 strömende Reduktionsgas verlässt den Reaktor und wird durch einen Abschreckkühler, eine Kohlendioxid-Entfernungseinheit und einen Kompressor in ähnlicher Weise, wie dies in Fig. 1 beschrieben wird, im Kreislauf geführt. Das verbesserte Kreislaufgas wird in einen ersten Erhitzer 250 eingeführt, in welchem die Kreislaufgasströme auf eine Temperatur von oberhalb 950°C erwärmt werden können. Der erwärmte Kreislaufgasstrom verlässt den Erhitzer 250 und fließt durch die Leitung 246 und vereint sich mit frisch reformiertem Gas, welches durch die Leitung 236 fließt. Der kombinierte Gasstrom fließt durch die Leitung 237 und in eine zweite oder zusätzliche Heizeinheit 260. Je nach der Temperatur des Kreislaufgasstroms und des Reformiergasstromes und in

Abhängigkeit vom Zirkulationsverhältnis, wird der kombinierte Gasstrom auf die gewünschte Reduktionsgastemperatur, die so hoch wie 1.000°C liegen kann, erhitzt. Das erhitzte Reduktionsgas verlässt die Heizvorrichtung 260 durch die Leitung 248 und wird dann in den Reaktor eingegeben.

Die hier verwendeten Ausdrücke sollen die Erfindung beschreiben aber nicht begrenzen und Äquivalente können selbstverständlich verwendet werden. Man kann zahlreiche Modifizierungen anwenden, ohne aus dem Bereich der Erfindung zu gelangen. So kann man anstelle des der Reformiereinheit in Fig. 1 zugeführten Erdgases, irgendein geeignetes kohlenstoffhaltiges Gas verwenden. Ebenso kann man auch eine geeignete Leitungsanordnung vornehmen, um die zusätzliche Heizeinrichtung, die in der Ausführungsform gemäss Fig. 2 gezeigt wird, zu umgehen, oder diese Vorrichtung einzuschalten.

245500 6

ERFINDUNGSANSPRUCH

1. Verfahren zum Reduzieren von teilchenförmigem Metall Erz zu Schwammmetall in einem vertikalen Schachtreaktor mit Bewegtbett, mit einer Reduktionszone, in welcher heisses Reduktionsgas aus hauptsächlich Kohlenmonoxid und Wasserstoff durch einen Teil des Bettes unter Reduktion des Metallerzes zu Schwammmetall fliessen gelassen wird, g e k e n n - z e i c h n e t dadurch, dass man
5
10 einen ersten Strom des Reduktionsgases in die Reduktionszone (12) des Reaktors (10) einleitet, wobei das Reduktionsgas eine Temperatur im Bereich von 700 bis 1.000°C und einen maximalen kombinierten Wasser- und Kohlendioxidgehalt von 16 Vol.% hat,
15 wenigstens einen Teil des ersten Stroms aus dem Reaktor als einen zweiten Gasstrom entfernt,
20 aus dem zweiten Gasstrom Wasser und Kohlendioxid unter Bildung eines dritten Gasstroms entfernt,

diesen dritten Gasstrom in eine Heizeinheit (56) einleitet,

5 den dritten Gasstrom auf eine Temperatur im Bereich von 700 bis 1.000°C erhitzt,

10 einen Strom aus kohlenwasserstoffhaltigem Gas und Wasser in einer Reformiereinheit (30) unter Bildung von Ausgleichsreduktionsgas reformiert, wobei der der Reformiereinheit zugeführte Gasstrom ein Wasser-zu-Kohlenstoff-Molverhältnis von wenigstens 1,8 hat,

15 den erhitzten dritten Gasstrom mit dem Ausgleichsreduktionsgas unter Ausbildung eines vierten Gasstroms kombiniert, und

20 den vierten Gasstrom im Kreislauf in den Reaktor (10) als ersten Gasstrom zurückführt.

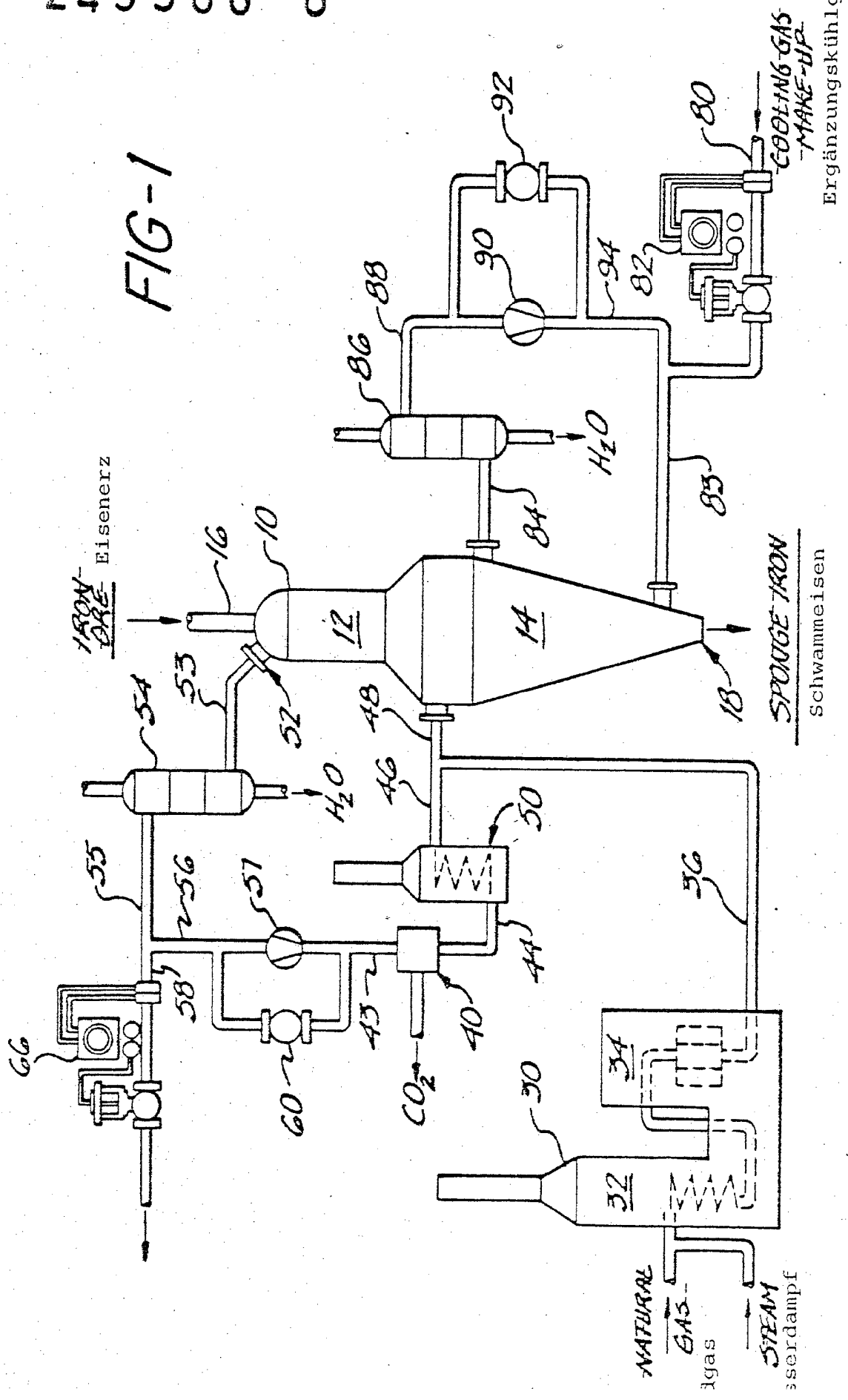
2. Verfahren gemäss Punkt 1, g e k e n n -
z e i c h n e t dadurch, dass der erhitzte dritte Gasstrom mit dem Ergänzungsreduktionsgas in einem Fliessverhältnis von 1,5:1 bis 3,0:1 unter Ausbildung des vierten Stroms kombiniert wird.

3. Verfahren gemäss Punkten 1 oder 2, g e k e n n -
z e i c h n e t dadurch, dass der vierte Strom auf eine Temperatur im Bereich von 700 bis 1.000°C vor der Kreislaufführung erhitzt wird.

4. Verfahren gemäss Punkten 1, 2 oder 3, g e -
k e n n z e i c h n e t dadurch, dass die Maximal-
temperatur des Ergänzungsreduktionsgases 850°C
beträgt.
- 5
5. Verfahren gemäss Punkten 1, 2, 3 oder 4,
g e k e n n z e i c h n e t dadurch, dass der
Wassergehalt des ersten Reduktionsgasstromes im
Bereich von 6 bis 12 Vol.% liegt.
- 10
6. Verfahren gemäss Punkten 1, 2, 3, 4 oder 5,
g e k e n n z e i c h n e t dadurch, dass der
dritte Gasstrom auf eine Temperatur im Bereich
von 830 bis 910°C erhitzt wird.
- 15
7. Verfahren gemäss Punkten 1 bis 6, g e k e n n -
z e i c h n e t dadurch, dass der kohlenwasser-
stoffhaltiges Gas und Wasser enthaltende Strom,
der in die Reformiereinheit eingeführt wird, ein
20 Wasser-zu-Kohlenstoff-Verhältnis im Bereich von
1,8 bis 3,0 hat.
- 25
8. Verfahren gemäss Punkten 1 bis 7, g e k e n n -
z e i c h n e t dadurch, dass das kohlenwasser-
stoffhaltige Gas Erdgas ist.
- 30
9. Verfahren gemäss Punkten 1 bis 8, g e k e n n -
z e i c h n e t dadurch, dass der vierte Gasstrom
auf eine Temperatur im Bereich von 830 bis 1.000°C
erhitzt wird.

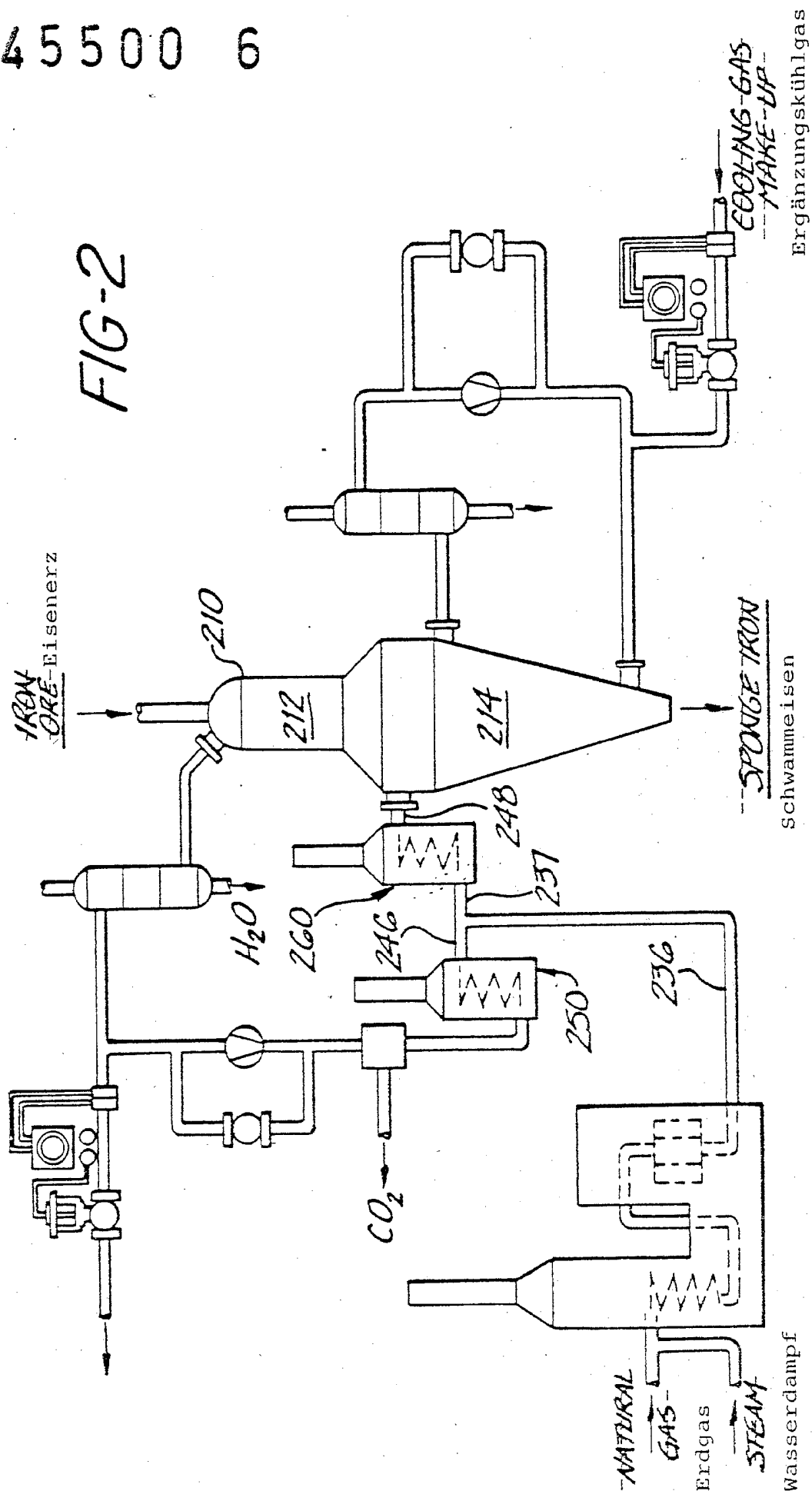
Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

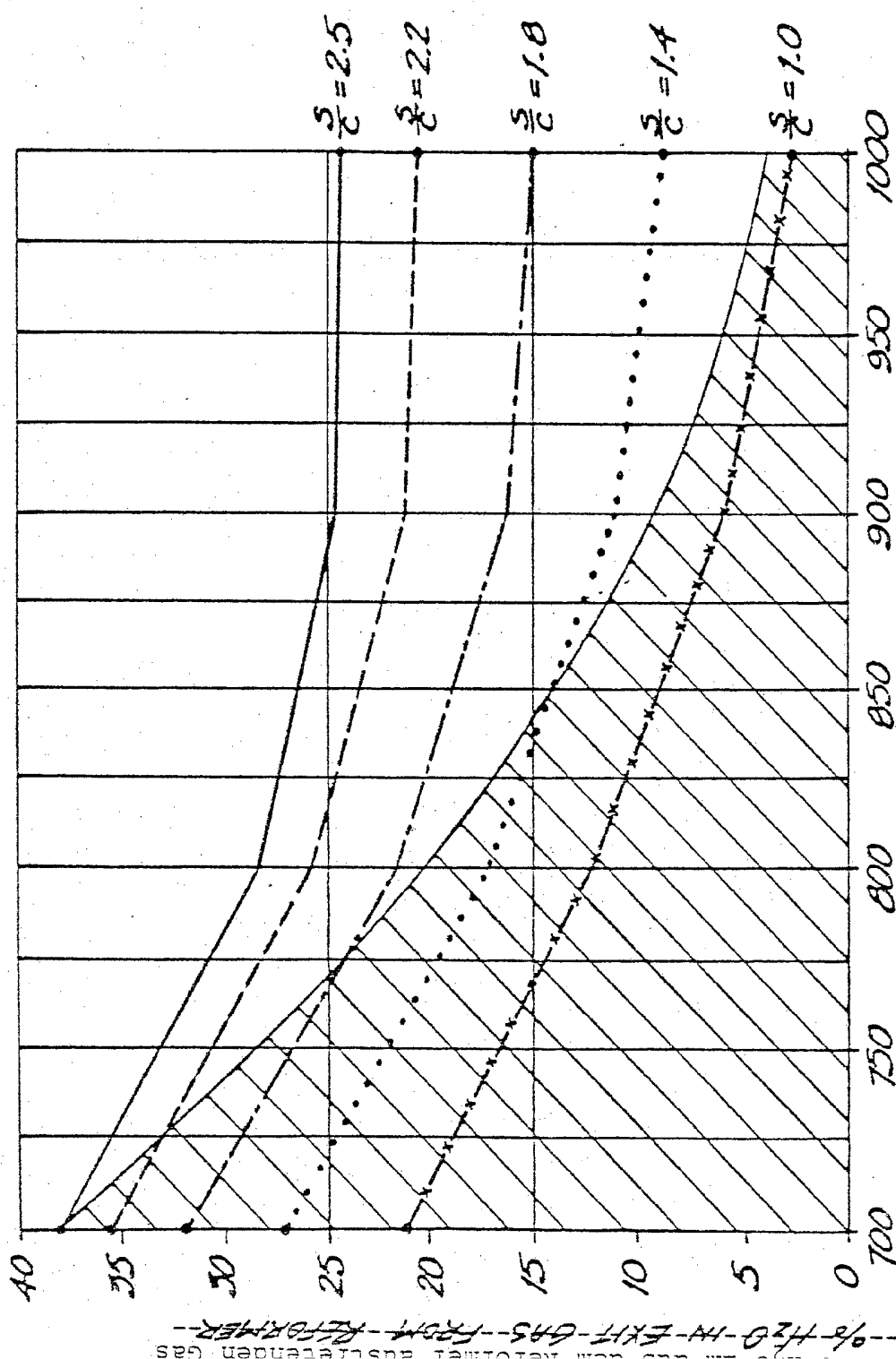
FIG-1



Ergänzungskühlgas

FIG-2





Wasserdampf
 $\frac{\text{STEAM}}{\text{CARBON}} \left(\frac{\text{S}}{\text{C}} \right)$
 Kohlenstoff

— 2.5
 --- 2.2
 - · - 1.8
 · · · 1.4
 — x — 1.0

FIG-3

EXIT TEMPERATURE (°C OF GAS) FROM REFORMER

Austrittstemperatur des Gases (°C) aus dem Reformer