



FÖD Wirtschaft, K.M.B., Mittelstand
und Energie
Amt für Geistiges Eigentum

(11) 1031596 B1

(47) Erteilungsdatum : 11/12/2024

(12) BELGISCHES ERFINDUNGSPATENT

(47) Veröffentlichungsdatum : 11/12/2024

(21) Antragsnummer : BE2023/5381

(22) Anmeldetag : 10/05/2023

(62) Teilantrag des früheren Antrags :

(62) Anmeldetag des früheren Antrags :

(51) Internationale Klassifikation : F27B 1/02, F27B 1/24, F27D 9/00, C04B 2/08, F27B 1/00, F27B 1/10, F27B 1/26, F27D 17/00, C04B 2/12

(30) Prioritätsangaben :

(73) Inhaber :

MAERZ OFENBAU AG
AG
8002, ZÜRICH
Schweiz

thyssenkrupp AG
AG
45143, ESSEN
Deutschland

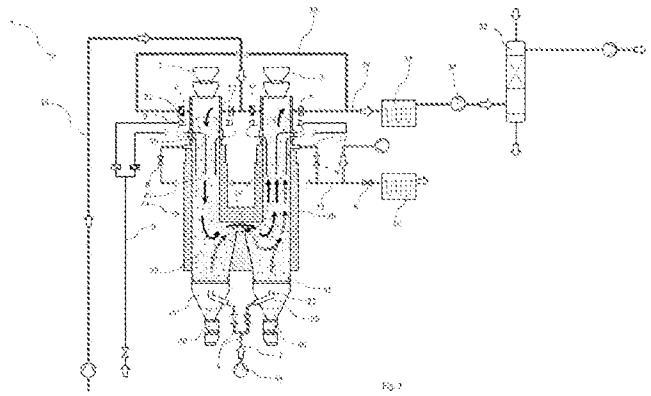
(72) Erfinder :

PIRINGER Hannes
5712 BEINWIL AM SEE
Schweiz

BUCHER Patrick
5012 SCHÖNENWERD
Schweiz

(54) Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen und Verfahren zum Brennen von Karbonatgestein

(57) Die Erfindung umfasst einen Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (1) zum Brennen und Kühlen von Material, wie Karbonatgesteinen, mit zwei Schächten (2), die abwechselnd als Brennschacht (2a) und als Regenerativschacht (2b) betreibbar und mittels eines Verbindungskanals (19) miteinander verbunden sind, wobei jeder Schacht (2) in Strömungsrichtung des Materials eine Vorwärmzone (21) zum Vorwärmen des Materials, eine Brennzone (20) zum Brennen des Materials und eine Kühlzone (22) zum Kühlen des Materials aufweist, wobei jeder Schacht (2) einen Abgasauslass (6) zum Auslassen von Abgas aus dem Schacht (2) aufweist, wobei der GGR-Schachtofen (1) einen Kühlgasauslass (17) zum Auslassen von Kühlgas aus dem Schacht (2) aufweist und wobei der Kühlgasauslass (17) in der Vorwärmzone (21) oder der Brennzone (20) angeordnet ist. Die Erfindung umfasst auch ein Verfahren zum Brennen von Material, wie Karbonatgesteinen, in einem Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (1) mit zwei Schächten (2), die abwechselnd als Brennschacht und als Regenerativschacht betrieben werden und mittels eines Verbindungskanals (19) miteinander verbunden sind, wobei das Material durch einen Materialeinlass (3) in eine Vorwärmzone (21) zum Vorwärmen des Materials, eine Brennzone (20) zum Brennen des Materials und eine Kühlzone (22) zum Kühlen des Materials zu einem Materialauslass (40) strömt, wobei ein Kühlgas in die Kühlzone eingelassen wird, wobei Abgas über einen Abgasauslass (6) aus einem der Schächte (2) ausgelassen wird und wobei das Kühlgas über einen Kühlgasauslass (17) in der Vorwärmzone (21) oder der Brennzone (20) aus zumindest einem der Schächte (2) ausgelassen wird.



Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen und Verfahren zum Brennen von Karbonatgestein

Die Erfindung betrifft einen Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (GGR-Schachtofen) sowie ein Verfahren zum Brennen und Kühlen von Material, wie Karbonatgesteinen, mit einem GGR-Schachtofen.

Das Brennen von Karbonatgestein in einem GGR-Schachtofen ist seit etwa 60 Jahren bekannt. Ein derartiger, beispielsweise aus der DE 10 2021 204 176 A1 bekannter GGR-Schachtofen weist zwei vertikale, parallele Schächte auf, die zyklisch arbeiten, wobei nur in einem Schacht, dem jeweiligen Brennschacht, gebrannt wird, während der andere Schacht als Regenerativschacht arbeitet. Dem Brennschacht werden Oxidationsgas im Gleichstrom mit dem Material und Brennstoff zugeführt, wobei die dabei entstehenden heißen Abgase zusammen mit der von unten zugeführten, erwärmten Kühlluft über den Überstromkanal in den Regenerativschacht geleitet werden, wo die Abgase im Gegenstrom zum Material nach oben abgeleitet werden und das Material dabei vorwärmen. Das Material wird üblicherweise von oben zusammen mit dem Oxidationsgas in den Schacht aufgegeben, wobei Brennstoffe in der Brennzone eingedüst werden.

Das zu brennende Material passiert üblicherweise in jedem Schacht eine Vorwärmzone zum Vorwärmen des Materials, eine sich daran anschließende Brennzone, in der das Material gebrannt wird und eine sich daran anschließende Kühlzone, in der Kühlluft dem heißen Material zugeführt wird.

Um den Qualitätsanforderungen bezüglich einer hohen Reaktivität des Branntkalkes, wie sie beispielsweise in Stahlwerken gefordert wird, gerecht zu werden, dürfen die Temperaturen in der Brennzone einen Wert von 1100°C, vorzugsweise 1000°C, nicht überschreiten. Des Weiteren steigt die Nachfrage nach umweltfreundlicher Herstellung von Branntkalk ebenfalls, sodass bestimmte Anforderungen an den CO₂-Gehalt des Abgases zur anschließenden Nachbehandlung erfüllt werden müssen. Die Herstellung von umweltfreundlichem Kalk soll allerdings möglichst kostengünstig erfolgen und lediglich minimale Umbaumaßnahmen bestehender Anlagen erfordern. Des Weiteren soll der Betrieb der Kalköfen möglichst energieeffizient erfolgen.

Davon ausgehend ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen GGR-Schachtofen und ein Verfahren zum Brennen von Karbonatgestein mit einem GGR-Schachtofen bereitzustellen, mit welchem Kalk mit einer hohen Reaktivität bei gleichzeitiger CO₂-Abscheidung aus dem Abgas hergestellt wird, wobei die Kalkherstellung energieeffizient und kostengünstig erfolgt.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des unabhängigen Vorrichtungsanspruchs 1 und durch ein Verfahren mit den Merkmalen des unabhängigen Verfahrensanspruchs 11 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Nach einem ersten Aspekt umfasst die Erfindung einen Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen zum Brennen und Kühlen von Material, wie Karbonatgesteinen, mit zwei Schächten, die abwechselnd als Brennschacht und als Regenerativschacht betreibbar und mittels eines Verbindungskanals miteinander verbunden sind, wobei jeder Schacht in Strömungsrichtung des Materials eine Vorwärmzone zum Vorwärmen des Materials, eine Brennzone zum Brennen des Materials und eine Kühlzone zum Kühlen des Materials aufweist, wobei jeder Schacht einen Abgasauslass zum Auslassen von Abgas aus dem Schacht aufweist. Der GGR-Schachtofen weist einen Kühlgasauslass zum Auslassen von Kühlgas aus dem Schacht auf, wobei der Kühlgasauslass in der Vorwärmzone oder der Brennzone angeordnet ist. Insbesondere ist der Kühlgasauslass vollständig und ausschließlich in der Vorwärmzone oder der Brennzone angeordnet.

Bei dem zu brennenden Material handelt es sich vorzugsweise um Kalkstein oder Dolomitstein mit einer Korngröße von 10mm bis 200mm, vorzugsweise von 15 bis 120mm, höchstvorzugsweise 30mm bis 100mm. Bei dem Kühlgas handelt es sich beispielsweise um Luft.

Der Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen weist mindestens zwei Schächte auf, die vorzugsweise parallel zueinander und vertikal angeordnet sind. Die Schächte sind abwechselnd als Brennschacht und als Regenerativschacht betreibbar, wobei jeder Schacht in Strömungsrichtung des Materials eine Vorwärmzone zum Vorwärmen des Materials, eine Brennzone zum Brennen des Materials und eine

Kühlzone zum Kühlen des Materials aufweist. Jeder Schacht weist vorzugsweise einen Materialeinlass zum Einlassen von zu brennendem Material in den Schacht auf, wobei sich der Materialeinlass insbesondere am oberen Ende des jeweiligen Schachts befindet, sodass das Material schwerkraftbedingt in den jeweiligen Schacht fällt. Der

5 Materialeinlass und/ oder der Materialauslass ist/sind insbesondere als Schleuse zum Einlassen und/ oder Auslassen von Material in den Schachtofen ausgebildet. Ein als Schleuse ausgebildeter Materialeinlass ist vorzugsweise derart ausgestaltet, dass lediglich das zu brennende Rohmaterial in den Schacht gelangt, nicht aber die Umgebungsluft. Auch ein Austreten von Gas über den Materialeinlass aus dem Schacht

10 wird durch die Materialschleuse verhindert. Vorzugsweise ist die Schleuse derart ausgebildet, dass sie den Schacht luftdicht gegen die Umgebung abdichtet und einen Eintritt von Feststoffen, wie das zu brennende Gut, in den Schacht erlaubt. Unter der Brennzone, Vorwärmzone und Kühlzone sind vorzugsweise die Bereiche des Schachts zu verstehen, die mit Material gefüllt sind. Materialfreie Räume die beispielsweise durch

15 eine Wand von dem mit Material gefüllten Bereichen des Schachts abgetrennt sind, sind vorzugsweise nicht Teil der Vorwärmzone, Brennzone oder Kühlzone.

Der Verbindungskanal ist zur gastechnischen Verbindung der beiden Schächte ausgebildet und verbindet vorzugsweise die Brennzonen der Schächte miteinander. Im

20 Betrieb des GGR-Schachtofens wird jeweils einer der Schächte als Brennschacht betrieben und ist aktiv, wobei der jeweils andere Schacht als Regenerativschacht betrieben wird und passiv ist. Der GGR-Schachtofen wird insbesondere zyklisch betrieben, wobei nach Ablauf der Zykluszeit die Funktion der Schächte getauscht wird. Dieser Vorgang wiederholt sich fortlaufend. In dem als Brennschacht betriebenen,

25 aktiven Schacht wird über die Brennerlanzen ein Brennstoff in die Brennzone eingeleitet. Das zu brennende Material wird in der Vorwärmzone des Brennschachts vorzugsweise auf eine Temperatur von etwa 700°C erwärmt. In dem als Brennschacht betriebenen Schacht ist die Brennzone als Gleichstrombrennzone ausgebildet, wobei das zu brennende Material parallel zu dem Gas strömt. Das Gas strömt innerhalb des

30 Brennschachts von der Vorwärmzone in die Brennzone und anschließend über den Verbindungskanal in die Brennzone und die Vorwärmzone des Regenerativschachts. In dem als Regenerativschacht betriebenen Schacht strömt das Gas in der Vorwärmzone und der Brennzone im Gegenstrom zu dem zu brennenden Material.

- Sowohl in dem Brennschacht als auch in dem Regenerativschacht wird Kühlgas im Gegenstrom zu dem zu kühlenden Material durch die Kühlzone geleitet und vorzugsweise vollständig über den Kühlgasauslass aus dem Schacht ausgelassen, sodass vorzugsweise kein oder nur eine geringe Menge an Kühlgas in den Abgasauslass des jeweiligen Schachts strömt. Vorzugsweise ist der Kühlgasauslass derart innerhalb der Vorwärmzone oder der Brennzone angeordnet, dass mindestens 60%, insbesondere mindestens 70%, vorzugsweise mindestens 80% bis mindestens 90% der dem GGR-Schachtofen zugeführten Kühlgasmenge über den Kühlgasauslass aus dem Schacht ausgelassen wird. Der Kühlgasauslass ist vorzugsweise separat zu dem Abgasauslass angeordnet. Insbesondere ist der Kühlgasauslass derart innerhalb der Vorwärmzone oder der Brennzone angeordnet und ausgebildet, dass 85% bis 110%, insbesondere 90% bis 105%, vorzugsweise 100% der dem GGR-Schachtofen zugeführten Kühlgasmenge als Kühlgasabluft über den Kühlgasauslass abgeführt wird.
- Jeder Schacht weist vorzugsweise zumindest einen Abgasauslass, beispielsweise an dem oberen Ende des Schachts innerhalb der Vorwärmzone, auf. Vorzugsweise ist der Abgasauslass oberhalb der Materialsäule in einem materialfreien Bereich der Vorwärmzone angeordnet. Das Abgas wird vorzugsweise ausschließlich aus einem Schacht, insbesondere dem Regenerativschacht, ausgelassen. Das ausgelassene Abgas wird vorzugsweise dem jeweils anderen Schacht, insbesondere dem Brennschacht zugeführt. Vorzugsweise wird lediglich ein Teil des aus dem Regenerativschacht ausgelassenen Abgases zumindest einem Schacht wieder zugeführt. Ein Teil des aus dem Regenerativschacht ausgelassenen Abgases wird beispielsweise aus dem GGR-Schachtofen abgeführt und beispielweise einer weiteren Behandlung, wie einer Sequestrierung, zugeführt. Das Abgas besteht vorzugsweise aus CO₂ und optional H₂O. Der GGR-Schachtofen weist vorzugsweise einen Verbrennungsgaseinlass zum Einlassen von Verbrennungsgas in die Vorwärmzone oder die Brennzone auf, wobei der Abgasauslass optional über eine Abgasrückführungsleitung mit dem Verbrennungsgaseinlass verbunden ist.
- Der Brennzone und/ oder der Vorwärmzone des als Brennschacht betriebenen Schachts wird vorzugsweise ein Brennstoff über eine Brennstoffleitung zugeführt. Vorzugsweise wird der Brennstoff Brennerlanzen zugeführt, die in der Brennzone und/ oder der Vorwärmzone angeordnet sind. Bei dem Brennstoff handelt es sich beispielsweise um

ein Brenngas, wie Hochofengas oder Erdgas oder Kohlenstaub oder Biomasse oder flüssige Brennstoffe. In der Brennzone wird das Material vorzugsweise auf eine Temperatur von etwa 1050°C erhitzt.

- 5 Jeder Schacht weist vorzugsweise eine Mehrzahl von Brennerlanzen auf, die sich zumindest teilweise durch die Vorwärmzone erstrecken und insbesondere in die Brennzone des jeweiligen Schachts münden und zum Leiten von beispielsweise Brennstoff und/ oder einem Oxidationsgas, wie Luft oder mit Sauerstoff angereicherte Luft oder reinem Sauerstoff, dienen.

- 10 Eine Rückführung des Abgases in zumindest einen Schacht ermöglicht die Herstellung von Kalk mit einer hohen Reaktivität, wobei gleichzeitig Prozessgas mit einem CO₂-Gehalt von mehr als 30vol%, insbesondere mehr als 50vol%, vorzugsweise mehr als 70vol% bezogen auf trockenes Gas hergestellt wird. Bei einem solchen Prozessabgas ist
- 15 es möglich, dieses mit geringerem Aufwand zu verflüssigen und zu sequestrieren. Beispielsweise wird das verflüssigte Prozessabgas weiteren Verfahrensschritten zugeführt oder gelagert. Alternativ kann mit dem vorangehend beschriebenen GGR-Schachtofen auch Abgas mit weniger CO₂-Gehalt, beispielsweise 40% bis 50% für die Sodaherstellung oder 30% bis 35% bezogen auf das trockene Gas für die Herstellung
- 20 von Rübenzucker oder gefällttem Kalziumkarbonat, erzeugt werden.

- Der Kühlgasauslass ist vorzugsweise vollständig innerhalb der Vorwärmzone oder der Brennzone angeordnet, sodass das Kühlgas durch den Kühlgasauslass aus der Vorwärmzone oder der Brennzone geleitet wird. Insbesondere ist der Kühlgasauslass
- 25 gastechnisch mit der Vorwärmzone und/ oder der Brennzone verbunden, wobei der Kühlgasauslass vorzugsweise in Gasströmungsrichtung innerhalb des Regenerativschachts stromabwärts der Brennzone angeordnet ist. Jeder Schacht weist vorzugsweise zumindest jeweils einen Kühlgasauslass auf, wobei vorzugsweise ausschließlich der in dem als Regenerativschacht betriebenen Schacht angeordnete
- 30 Kühlgasauslass geöffnet ist und der Kühlgasauslass des Brennschachts gastechnisch verschlossen ist.

Gemäß einer Erkenntnis der Erfinder, strömt das sauerstoffhaltige Kühlgas im Wesentlichen separat zu dem Verbrennungsgas innerhalb der Schächte, sodass es nur

zu einer sehr geringen Vermischung der Gasströme des Verbrennungsgases und des Kühlgases kommt. Ein Abzug des Kühlgases über den Kühlgasauslass in der Vorwärmzone oder der Brennzzone bietet den Vorteil gegenüber einem Abzug des Kühlgases aus der Kühlzone, dass die Wärmemenge des Kühlgases dem GGR-Schachtofen zusätzlich in der Brennzzone und der Vorwärmzone zur Erwärmung des Materials zur Verfügung steht. In dem erfindungsgemäßen GGR-Schachtofen strömt die Kühlluft vorzugsweise durch einen Großteil, insbesondere fast die gesamte Menge, des Materialbetts. Dies führt zu einer optimalen Wärmebilanz, wobei keine zusätzliche Bauhöhe des GGR-Schachtofens erforderlich ist. Des Weiteren kann auf einen dem Kühlgasauslass nachgeschalteten Rekuperator zur Nutzung der Abwärme verzichtet werden.

Gemäß einer ersten Ausführungsform ist der Kühlgasauslass in der Außenwand des Schachts angeordnet. Vorzugsweise erstreckt sich der Kühlgasauslass vollständig durch die Außenwand des Schachts hindurch und ist insbesondere in der die Vorwärmzone oder die Brennzzone umgebenden Außenwand angeordnet. Vorzugsweise weist der GGR-Schachtofen eine feuerfeste Ausmauerung auf, die sich beispielsweise von der Kühlzone bis zur Vorwärmzone, insbesondere bis zu einem unteren Bereich der Vorwärmzone erstreckt. Der Kühlgasauslass ist vorzugsweise oberhalb der Ausmauerung oder an einem oberen Endbereich der Ausmauerung angeordnet. Der Kühlgasauslass ist vorzugsweise vollständig in der Vorwärmzone oder der Brennzzone angeordnet, sodass die Kühlluft von der Kühlzone insbesondere vollständig in die Brennzzone strömt. Ein in der Außenwand der Vorwärmzone oder der Brennzzone angeordneter Kühlgasauslass bietet eine konstruktiv sehr einfache Lösung des Kühlgasabzugs. Bestehenden Kalköfen können ohne große Aufwand umgerüstet werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der GGR-Schachtofen eine oder eine Mehrzahl von Brennerlanzen auf, die derart angeordnet sind, dass sie in die Brennzzone münden, wobei der Kühlgasauslass in Gasströmungsrichtung des Regenerativschachts stromabwärts zumindest einer der Mündungen der Brennerlanzen angeordnet ist. Vorzugsweise ist der Kühlgasauslass in Gasströmungsrichtung stromabwärts aller Mündungen der Brennerlanzen angeordnet. Die Brennerlanzen weisen beispielsweise Abdeckungen auf, die in Strömungsrichtung des Materials stromaufwärts der Einlässe

- der Brennerlanzen in den jeweiligen Schacht angeordnet sind. Vorzugsweise ist jeder Brennerlanze eine Abdeckung zugeordnet. Die Abdeckungen sind derart ausgebildet und angeordnet, dass sie zumindest den oberen Bereich der Brennerlanzen jeweils vor einem Kontakt, insbesondere Aufprallen des Materials auf die Brennerlanzen schützen. Der
- 5 Kühlgasauslass ist vorzugsweise unterhalb der Abdeckung, insbesondere in Materialströmungsrichtung stromabwärts der Abdeckung angeordnet. Die Brennerlanzen, insbesondere die Abdeckungen der Brennerlanzen stellen für das in Richtung der Vorwärmzone strömenden Kühlgas und Verbrennungsgas ein Strömungshindernis dar, sodass beim Passieren der Brennerlanzen eine Verwirbelung
- 10 und eine Vermischung der Gasströme erfolgt. Daher ist eine Anordnung des Kühlgasauslasses in Strömungsrichtung des Gases vor den Abdeckungen der Brennerlanzen vorteilhaft, um möglichst ausschließlich den Kühlgasstrom durch den Kühlgasauslass abzuführen.
- 15 Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist jeder Schacht einen Kühlgasauslass auf, wobei jedem Kühlgasauslass jeweils ein Regelorgan zur Einstellung der über den Kühlgasauslass abzuführenden Kühlgasmenge zugeordnet ist und wobei das dem Kühlgasauslass des Brennschachts zugeordnete Regelorgan geschlossen ist, sodass vorzugsweise kein Kühlgas über den Kühlgasauslass des Brennschachts abführbar ist.
- 20 Vorzugsweise ist der Kühlgasauslass mit einer Kühlgasabzugsleitung verbunden, die außerhalb des Schachts angeordnet ist. Das Regelorgan ist vorzugsweise gastechnisch mit dem Kühlgasauslass verbunden und insbesondere in der Kühlgasabzugsleitung angeordnet. Bei dem Regelorgan handelt es sich beispielsweise um eine Klappe oder ein Ventil, das stufenlos zwischen einer geöffneten Position und einer geschlossenen
- 25 Position verstellbar ist. Das dem Kühlgasauslass des Regenerativschachts zugeordnete Regelorgan ist vorzugsweise derart ausgebildet und eingerichtet, dass 85% bis 110%, insbesondere 90% bis 105%, vorzugsweise 100% der dem GGR-SchachtOfen zugeführten Kühlgasmenge als Kühlgasabluft über den Kühlgasauslass des Regenerativschachts abgeführt wird. Die Kühlgasabzugsleitung ist beispielsweise mit
- 30 dem Verbrennungsgaseinlass, insbesondere mit der Abgasrückführungsleitung zur Leitung des aus dem Abgasauslass ausgelassenen Abgases verbunden, sodass das aus dem Kühlgasauslass abgeführte Kühlgas dem Verbrennungsgaseinlass, insbesondere der Brennzone des Brennschachts zugeführt wird. Vorteilhafterweise wird bei einer solchen Verschaltung kein CO₂-haltiges Gas über den Kühlgasauslass in die Atmosphäre

entlassen, sondern das gesamte Abgas wird über den Abgasauslass vorzugsweise einer weiteren Verarbeitung oder einer Speicherung zugeführt.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der Kühlgasauslass in einem dem
5 Verbindungskanal abgewandten Bereich der Außenwand der Vorwärmzone oder der
Brennzone angeordnet. Der GGR-Schachtofen weist vorzugsweise einen direkten
Verbindungskanal zur direkten Verbindung des Brennschachts mit dem
Regenerativschacht. Beispielsweise weisen die Schächte jeweils einen eckigen,
dreieckigen, viereckigen, rechteckigen, runden, ovale, vieleckigen, halbkreisförmigen,
10 teilkreisförmigen oder kreisförmigen Querschnitt auf. Der Verbindungskanal bildet
vorzugsweise eine direkte gastechnische Verbindung der beiden Schächte aus, wobei
das Kühlgas des Brennschachts zusammen mit dem Brenngas des Brennschachts direkt
in den Verbindungskanal und anschließend in den Regenerativschacht strömt.
Vorzugsweise weist der GGR-Schachtofen keinen Ringkanal zusätzlich zu und auf der
15 gleichen Höhe mit dem Verbindungskanal auf und die Schächte sind vorzugsweise
gastechnisch direkt ohne einen oder mehr Ringkanäle miteinander verbunden.
Beispielhaft weisen die Brennzone und die Vorwärmzone der Schächte einen über die
Schachtlänge im Wesentlichen konstanten Querschnitt auf. Die radial nach außen von
dem Verbindungskanal weg weisende Außenwand der Schächte erstreckt sich
20 insbesondere ausschließlich vertikal über die gesamte Schachtlänge, insbesondere über
die Länge der Brennzone und der Kühlzone. Die Kühlzone weist vorzugsweis einen sich
in Richtung des Verbindungskanals vergrößernden Querschnitt auf, der in den
Verbindungskanal mündet. Vorzugsweise sind die Schächte des GGR-Schachtofens
vollständig mit Material gefüllt, sodass insbesondere in der Brennzone und der Kühlzone,
25 kein materialfreier Ringraum auf der Höhe des Verbindungskanals ausgebildet ist. Bei
einem GGR-Schachtofen mit einem direkten Verbindungskanal strömt das
sauerstoffhaltige Kühlgas nach einer Erkenntnis der Erfinder von der Kühlzone an den
dem Verbindungskanal gegenüberliegenden Bereich des Regenerativschachts und
entlang der Innenseite der Außenwand des Regenerativschachts nach oben.
30 Vorzugsweise strömt das Kühlgas im Wesentlichen separat zu dem Verbrennungsgas
der Brennzone, sodass nur eine sehr geringe Durchmischung der Gasströme erfolgt. Ein
Kühlgasauslass in der dem Verbindungskanal abgewandten Außenwand des
Regenerativschachts ermöglicht einen Abzug einer großen Menge, insbesondere nahezu
der gesamten Kühlgasmenge aus dem Regenerativschacht, sodass in dem über den

Abgasauslass aus dem Schacht abgeführten Abgas kein oder nur ein sehr geringer Kühlluftanteil ist.

5 Gemäß einer weiteren Ausführungsform erstreckt sich der Kühlgasauslass in der Außenwand des Schachts in horizontaler Richtung. Vorzugsweise ist der Kühlgasauslass als horizontaler Schlitz ausgebildet. Insbesondere erstreckt sich der Kühlgasauslass über die gesamte Breite der dem Verbindungskanal gegenüberliegenden Außenwand des Schachts. Beispielsweise umfasst der Kühlgasauslass eine Mehrzahl von Durchlassöffnungen in der Schachtaußenwand, die beispielsweise in horizontaler
10 Richtung nebeneinander und vorzugsweise auf einer Höhe angeordnet sind.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der GGR-Schachtofen eine Kühlgasabzugseinrichtung auf, die zum Leiten des Kühlgases mit dem Kühlgasauslass verbunden ist und sich von der vertikalen Mittelachse des Schachts zu dem
15 Kühlgasauslass erstreckt. Der GGR-Schachtofen umfasst vorzugsweise einen indirekten Verbindungskanal. Bei einem GGR-Schachtofen mit einem indirekten Verbindungskanal ist der Verbindungskanal mit einem materialfreien Ringraum verbunden, der sich umfangsmäßig um das untere Ende der Brennzone erstreckt. Vorzugsweise weisen beide Schächte einen materialfreien Ringraum auf der Höhe des Verbindungskanals auf,
20 die gastechnisch mit dem Verbindungskanal verbunden sind. Die Kühlgasabzugseinrichtung ist vorzugsweise vollständig innerhalb der Vorwärmzone oder der Brennzone des Schachts angeordnet und gastechnisch mit dem Kühlgasauslass verbunden. Vorzugsweise erstreckt sich die Kühlgasabzugseinrichtung radial durch die Vorwärmzone oder die Brennzone des Regenerativschachts. Bei einem GGR-
25 Schachtofen mit einem indirekten Verbindungskanal strömt das Kühlgas nach einer Erkenntnis der Erfinder mittig, insbesondere entlang der Mittellängsachse des Regenerativschachts durch die Brennzone und die Vorwärmzone im Wesentlichen separat zu den als radial äußerer Ringraum strömenden Verbrennungsgasen. Eine Anordnung einer mit dem Kühlgasauslass verbundenen Kühlgasabzugseinrichtung, die
30 sich von der Mittellängsachse radial nach außen erstreckt bietet eine einfache Möglichkeit, das separat zu den Verbrennungsgasen strömende Kühlgas in der Vorwärmzone oder der Brennzone abzuziehen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Kühlgasabzugseinrichtung eine Abzugshaube und eine mit dieser gastechnisch verbundene Leitung auf. Die Abzugshaube ist vorzugsweise koaxial zu dem Schacht innerhalb der Vorwärmzone angeordnet und weist vorzugsweise einen runden, insbesondere kreisförmigen Querschnitt auf. Die Abzugshaube ist beispielsweise topfförmig oder trichterförmig ausgebildet und vorzugsweise nach unten geöffnet. Die Leitung erstreckt sich vorzugsweise von der Abzugshaube zu dem Kühlgasauslass, insbesondere horizontal in radialer Schachtrichtung. Dies ermöglicht einen Abzug des Kühlgases separat zu dem Verbrennungsgas aus der Vorwärmzone der Brennzona.

10

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der GGR-Schachtofen einen Verbrennungsgaseinlass auf, der mit einer Verbrennungsgasquelle verbunden ist, die ein Verbrennungsgas mit einem Sauerstoffgehalt von mehr als 60vol%, vorzugsweise mehr als 75vol%, insbesondere mehr als 80vol% bis mehr als 95vol% Sauerstoff umfasst.

15

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist jeder Schacht jeweils einen Kühlgaseinlass auf, dem jeweils ein Regelorgan zur Einstellung der Menge an dem jeweiligen Kühlgaseinlass zugeführtem Kühlgas, zugeordnet ist und wobei die Regelorgane derart eingestellt sind, dass dem Brennschacht eine geringere Kühlluftmenge zugeführt wird als dem Regenerativschacht. Bei dem Regelorgan handelt es sich beispielsweise um ein stufenlos einstellbares Ventil oder eine Klappe. Das Regelorgan ist beispielsweise dem Kühlgaseinlass vorgeschaltet und insbesondere in einer mit dem Kühlluftinlass verbundenen Kühlgasleitung angeordnet. Vorzugsweise sind die Regelorgane derart ausgebildet und eingerichtet, dass dem Brennschacht 20% bis 30%, vorzugsweise 25% der dem GGR-Schachtofen zugeführten Gesamtkühlgasmenge zugeführt wird.

20

Die Erfindung umfasst auch ein Verfahren zum Brennen von Material, wie Karbonatgesteinen, in einem Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen, wobei die mit Bezug auf den Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen beschriebenen Ausführungen und Vorteile in verfahrensgemäßer Entsprechung auch auf das Verfahren zutreffen.

25

30

Bei einem Verfahren zum Brennen von Material, wie Karbonatgesteinen, in einem Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen mit zwei Schächten, die abwechselnd als Brennschacht und als Regenerativschacht betrieben werden und mittels eines Verbindungskanals miteinander verbunden sind, strömt das Material durch einen

5 Materialeinlass in eine Vorwärmzone zum Vorwärmen des Materials, eine Brennzone zum Brennen des Materials und eine Kühlzone zum Kühlen des Materials zu einem Materialauslass, wobei ein Kühlgas in die Kühlzone eingelassen wird, wobei Abgas über einen Abgasauslass aus einem der Schächte ausgelassen wird und wobei das Kühlgas über einen Kühlgasauslass in der Vorwärmzone oder der Brennzone aus zumindest

10 einem der Schächte ausgelassen wird. Das Kühlgas strömt vorzugsweise in dem Regenerativschacht von der Kühlzone in die Brennzone und anschließend zusammen mit dem Abgas der Brennzone durch die Brennzone in die Vorwärmzone und verlässt durch den in der Vorwärmzone oder der Brennzone angeordneten Kühlgasauslass den Schacht, insbesondere den Regenerativschacht. Das über den Abgasauslass aus dem

15 Schacht ausgelassene Abgas wird vorzugsweise dem Brennschacht zugeführt. Beispielsweise wird das Abgas in die Vorwärmzone des als Brennschacht betriebenen Schachts eingeleitet.

Gemäß einer Ausführungsform wird das Kühlgas über einen in der Außenwand des

20 Schachts angeordneten Kühlgasauslass aus dem Schacht ausgelassen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Kühlgas vorzugsweise ausschließlich aus dem Regenerativschacht ausgelassen.

25 Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die Menge an über den Kühlgasauslass aus dem Regenerativschacht ausgelassenen Kühlgases mittels eines Regelorgans eingestellt. Vorzugweise werden 85% bis 110%, insbesondere 90% bis 105%, vorzugsweise 100% der dem GGR-Schachtofen zugeführten Kühlgasmenge als Kühlgasabluft über den Kühlgasauslass abgeführt.

30 Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird dem GGR-Schachtofen ein Verbrennungsgas mit einem Sauerstoffgehalt von mehr als 60vol%, vorzugsweise mehr als 75vol%, insbesondere mehr als 80vol% bis mehr als 95vol% Sauerstoff zugeführt.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird dem Brennschacht eine geringere Kühlluftmenge zugeführt als dem Regenerativschacht.

5 Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird vorzugsweise ausschließlich das mittig durch die Vorwärmzone oder die Brennzone strömende Kühlgas aus dem Schacht abgeführt.

10 Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird vorzugsweise ausschließlich das entlang der Außenwand der Vorwärmzone strömende Kühlgas aus dem Schacht abgeführt wird.

Vorzugsweise weist jeder Schacht einen Gaseinlass, insbesondere einen Verbrennungsgaseinlass auf, der in dem oberen Bereich des Schachts in der Vorwärmzone angeordnet ist und dem Einlass des zur Verbrennung benötigten Gases dient. Vorzugsweise ist der Gaseinlass oberhalb der Materialsäule in einen materialfreien
15 Raum der Vorwärmzone angeordnet.

Vorzugsweise wird dem als Brennschacht betriebenen Schacht ein Oxidationsmittel zugeführt. Bei dem Oxidationsmittel handelt es sich beispielsweise um reinen Sauerstoff oder um sauerstoffreiches Gas mit einem Sauerstoffanteil von mehr als 60vol%
20 mindestens 70 bis 95vol%, vorzugsweise mehr als 80vol% oder mehr als 90%. Das Oxidationsmittel wird vorzugsweise zusammen mit dem Abgas in die Vorwärmzone des Brennschachtes eingeleitet. Es ist ebenfalls denkbar, dass der Schacht in der Vorwärmzone einen separaten Oxidationsmitteleinlass zum Einlassen des Oxidationsmittels separat zu dem Abgas in den Schacht aufweist.

25 Mit dem vorangehend beschriebenen GGR-Schachtofen und dem Verfahren zum Betreiben des GGR-Schachtofens wird ein CO₂-Gehalt im Abgas von mindestens 30vol%, insbesondere mindestens 50Vol%, vorzugsweise mindestens 70vol% erreicht. Dies ermöglicht eine Weiterverarbeitung des Abgases in anderen Industrieprozessen
30 oder eine Speicherung des CO₂-haltigen Abgases.

Beschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung ist nachfolgend anhand mehrerer Ausführungsbeispiele mit Bezug auf die beiliegenden Figuren näher erläutert.

- Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines GGR-Schachtofens in einer Schnittansicht gemäß einem Ausführungsbeispiel.
- Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines GGR-Schachtofens in einer Schnittansicht gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel.
- Fig. 3a, b zeigt jeweils eine schematische Darstellung eines GGR-Schachtofens in einer Längsschnittansicht und einer Querschnittansicht gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel.
- Fig. 4a, b zeigt jeweils eine schematische Darstellung des Gasströmungsverlaufs eines GGR-Schachtofens in einer Längsschnittansicht gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel.

Fig. 1 zeigt einen GGR-Schachtofen 1 mit zwei parallelen und vertikal ausgerichteten Schächten 2. Die Schächte 2 des GGR-Schachtofens 1 sind im Wesentlichen identisch aufgebaut, sodass in Fig. 1 lediglich einer der beiden Schächte 2 vollständig mit Bezugszeichen versehen ist und im Folgenden der Einfachheit halber lediglich einer der beiden Schächte 2 beschrieben ist. Jeder Schacht 2 weist jeweils einen Materialeinlass 3 auf zum Einlassen von zu brennenden Material in den jeweiligen Schacht 2 des GGR-Schachtofens 1. Bei dem zu brennenden Material handelt es sich insbesondere um Kalkstein und/ oder Dolomitstein vorzugsweise mit einer Korngröße von 10 bis 200mm, vorzugsweise von 15 bis 120mm, höchstvorzugsweise 30 bis 100mm. Die Materialeinlässe 3 sind beispielhaft an dem oberen Ende des jeweiligen Schachts 2 angeordnet, sodass das Material durch den Materialeinlass 3 schwerkraftbedingt in den Schacht 2 fällt. Der Materialeinlass 3 ist beispielsweise als obere Öffnung des Schachts 2 und insbesondere als Schleuse 3 ausgebildet und erstreckt sich vorzugsweise über den gesamten oder einen Teil des Querschnitts des Schachts 2. Ein als Schleuse 3 ausgebildeter Materialeinlass ist vorzugsweise derart ausgestaltet, dass lediglich das zu brennende Rohmaterial in den Schacht 2 gelangt, nicht aber die Umgebungsluft. Vorzugsweise ist die Schleuse 3 derart ausgebildet, dass sie den Schacht 2 luftdicht

gegen die Umgebung abdichtet und einen Eintritt von Feststoffen, wie das zu brennende Gut, in den Schacht erlaubt.

Jeder Schacht 2 weist an seinem oberen Ende des Weiteren einen
5 Verbrennungsgaseinlass 12 zum Einlassen von Verbrennungsgas zur Verbrennung von Brennstoffen auf. Bei dem Verbrennungsgas handelt es sich beispielsweise um entstaubtes Abgas zumindest eines der Schächte 2, wobei das Abgas optional mit Sauerstoff angereichert ist. Des Weiteren weist jeder Schacht 2 einen Abgasauslass 6
10 zum Auslassen von Abgasen aus dem jeweiligen Schacht 2 auf. Jedem Abgasauslass 6 und Verbrennungsgaseinlass 12 ist beispielhaft jeweils ein Regelorgan zugeordnet. Über Regelorgane, wie beispielsweise ein mengenregulierbarer Verdichter, ist vorzugsweise die Menge an Verbrennungsgas in den jeweiligen Verbrennungsgaseinlass 12 und die Menge an über den jeweiligen Abgasauslass 6 abzuziehendes Abgas einstellbar. Der
15 Verbrennungsgaseinlass 12 und der Abgasauslass 6 sind beispielhaft auf dem gleichen Höhengniveau und insbesondere innerhalb der Vorwärmzone 21 des jeweiligen Schachts 2 angeordnet.

Am unteren Ende des Schachts 2 ist ein Materialauslass 40 zum Abführen des gebrannten Materials angeordnet. Bei dem Materialauslass 40 handelt es sich
20 beispielsweise um eine wie mit Bezug auf den Materialeinlass 3 beschriebene Schleuse. Das gebrannte Material wird beispielsweise in einen Auslasstrichter 25 geleitet, an den sich der Materialauslass 40 des Schachts 2 anschließt. Der Auslasstrichter 25 ist beispielhaft trichterförmig ausgebildet. Der Auslasstrichter 25 weist vorzugsweise einen
25 Kühlgaseinlass 23 zum Einlassen von Kühlgas in den jeweilige Schacht 2 auf. Das Kühlgas wird vorzugsweise mittels eines Verdichters 33 in den Kühlgaseinlass 23 geleitet.

Im Betrieb des GGR-Schachtofens 1 strömt das zu brennende Material von oben nach unten durch den jeweiligen Schacht 2, wobei die Kühlluft von unten nach oben, im
30 Gegenstrom zu dem Material, durch den jeweiligen Schacht 2 strömt. Das Ofenabgas wird durch den Abgasauslass 6 aus dem Schacht 2 abgeführt.

Unterhalb des Materialeinlasses 3 und des Verbrennungsgaseinlasses 12 schließt sich in Strömungsrichtung des Materials die Vorwärmzone 21 des jeweiligen Schachtes 2 an.

In der Vorwärmzone 21 wird das Material und das Verbrennungsgas vorzugsweise auf etwa 700°C vorgewärmt. Vorzugsweise ist der jeweilige Schacht 2 mit zu brennendem Material gefüllt. Das Material wird vorzugsweise oberhalb der Vorwärmzone 21 in den jeweiligen Schacht 2 aufgegeben. Zumindest ein Teil der Vorwärmzone 21 und der sich
5 in Strömungsrichtung des Materials daran anschließende Teil des jeweiligen Schachtes 2 sind beispielsweise mit einer feuerfesten Auskleidung umgeben.

In der Vorwärmzone 21 sind optional eine Mehrzahl von Brennerlanzen 10 angeordnet und dienen jeweils als Einlass für Brennstoff, wie beispielsweise ein Brenngas, Öl oder
10 gemahlener fester Brennstoff. Der GGR-Schachtofen 1 weist beispielsweise eine Kühleinrichtung zur Kühlung der Brennerlanzen 10 auf. Die Kühleinrichtung umfasst beispielsweise eine Mehrzahl von Kühllufringleitungen, die sich ringförmig um den Schachtbereich erstrecken, in dem die Brennerlanzen 10 angeordnet sind. Durch die Kühllufringleitungen strömt vorzugsweise Kühlluft zur Kühlung der Brennerlanzen 10.
15 Beispielsweise werden die Brennerlanzen 10 mittels des über den Abgasauslass 6 abgeführten Abgases gekühlt. Vorzugsweise ist der Abgasauslass 6 mit den Brennerlanzen 10 zur Leitung von Abgas zu den Brennerlanzen 10 verbunden.

Vorzugsweise sind in jedem Schacht 2 eine Mehrzahl, beispielsweise zwölf oder mehr
20 Brennerlanzen 10 und im Wesentlichen gleichmäßig zueinander beabstandet angeordnet. Die Brennerlanzen 10 weisen beispielsweise eine L-Form auf und erstrecken sich vorzugsweise in horizontaler Richtung in den jeweiligen Schacht 2 hinein und innerhalb des Schachtes 2 in vertikaler Richtung, insbesondere in Strömungsrichtung des Materials. Die Enden der Brennerlanzen 10 eines Schachtes 2 sind vorzugsweise alle
25 auf demselben Höhenniveau angeordnet. Vorzugsweise ist die Ebene, an der die Lanzenenden angeordnet sind, jeweils das untere Ende der jeweiligen Vorwärmzone 21. Die Brennerlanzen 10 sind vorzugsweise mit einer Brennstoffleitung 9 zur Leitung von Brennstoff zu den Brennerlanzen 10 verbunden. Die Brennstoffleitung 9 ist beispielhaft zumindest teilweise als Ringleitung ausgebildet, die sich umfangsmäßig um den
30 jeweiligen Schacht 2 herum erstreckt. Vorzugsweise weist jeder Schacht 2 eine jeweils den Brennerlanzen 10 des Schachts 2 zugeordnete Brennstoffleitung auf, die insbesondere jeweils ein Regelorgan zur Einstellung der Brennstoffmenge zu den Brennerlanzen 10 aufweist.

An die Vorwärmzone 21 schließt sich in Strömungsrichtung des Materials die Brennzone 20 an. Die Brennerlanzen 10 münden beispielsweise in die Brennzone 20. Vorzugsweise erstreckt sich die Flamme der Brennerlanzen 10 in die Brennzone 20 hinein. In der Brennzone 20 wird der Brennstoff verbrannt und das vorgewärmte Material bei einer Temperatur von etwa 1000°C gebrannt. Der GGR-Schachtofen 1 weist des Weiteren einen Verbindungskanal 19 zum gastechnischen Verbinden der beiden Schächte 2 miteinander auf. In dem Verbindungskanal 19 ist insbesondere kein zu brennendes Material vorhanden.

In der Fig. 1 ist beispielhaft ein GGR-Schachtofen 1 mit einem direkten Verbindungskanal 19 gezeigt, der beispielsweise einen eckigen Schachtquerschnitt aufweist. Beispielsweise weisen die Schächte 2 des GGR-Schachtofens 1 einen, dreieckigen, viereckigen, rechteckigen, runden, ovale, vieleckigen, halbreisförmigen, teilkreisförmigen oder kreisförmigen Querschnitt auf. Der Verbindungskanal 19 bildet eine direkte gastechnische Verbindung der beiden Schächte 2 aus, wobei das Kühlgas des Brennschachts 2a zusammen mit dem Brenngas des Brennschachts 2a direkt in den Verbindungskanal 19 und anschließend in den Regenerativschacht 2b strömt. Vorzugsweise weist der GGR-Schachtofen 1 der Fig. 1 keinen Ringkanal 18, wie mit Bezug auf Fig. 3a und b beschrieben auf. Beispielhaft weisen die Brennzone 20 und die Vorwärmzone 21 der Schächte 2 einen über die Schachtlänge im Wesentlichen konstanten Querschnitt auf. Die radial nach außen von dem Verbindungskanal weg weisende Außenwand der Schächte 2 erstreckt sich insbesondere ausschließlich vertikal über die gesamte Schachtlänge, insbesondere über die Länge der Brennzone 20 und der Kühlzone 22. Die Kühlzone 22 weist vorzugsweis einen sich in Richtung des Verbindungskanals 19 vergrößernden Querschnitt auf, der in den Verbindungskanal 19 mündet. Vorzugsweise sind die Schächte 2 des GGR-Schachtofens 1 der Fig. 1 vollständig mit Material gefüllt, sodass insbesondere in der Brennzone 20 und der Kühlzone 22, kein materialfreier Raum ausgebildet ist.

An die Brennzone 20 schließt sich in Strömungsrichtung des Materials in jedem Schacht 2 die Kühlzone 22 an, die sich bis zum Materialauslass 40 erstreckt. Die Kühlzone 22 ist beispielhaft in einem Schachtabschnitt mit einem im Wesentlichen konstanten oder nach unten kleiner werdendem Querschnitt ausgebildet. Das Material wird innerhalb der Kühlzone 22 auf etwa 100°C im Gegenstrom zu dem Material strömendem Kühlgas

abgekühlt. Das über den Kühlgaseinlass 23 in die Kühlzone 22 strömende Kühlgas strömt vorzugsweise vollständig in die Brennzone 20 und vorzugsweise die Vorwärmzone 21 des jeweiligen Schachts 2.

5 An dem materialauslassseitigen Ende eines jeden Schachtes 2 ist vorzugsweise eine Austragseinrichtung 41 angeordnet. Die Austragseinrichtungen 41 umfassen beispielsweise horizontale Platten, vorzugsweise einen Austragstisch, die einen seitlichen Durchtritt des Materials zwischen dem Austragstisch und der Gehäusewand des GGR-Schachtofens erlauben. Die Austragseinrichtung 41 ist vorzugsweise als
10 Schub- oder Drehtisch oder als Tisch mit Schubräumer ausgeführt. Dies ermöglicht eine gleichmäßige Durchsatzgeschwindigkeit des Brennguts durch die Schächte 2. Die Austragseinrichtung 41 umfasst des Weiteren beispielhaft den Auslasstrichter 25, der sich an den Austragstisch anschließt und an dessen unterem Ende der Materialauslass 40 angebracht ist.

15 Im Betrieb des GGR-Schachtofens 1 ist jeweils einer der Schächte 2 aktiv, wobei der jeweils andere Schacht 2 passiv ist. Der aktive Schacht 2a wird als Brennschacht und der passive Schacht 2 als Regenerativschacht 2b bezeichnet. Der GGR-Schachtofen 1 wird insbesondere zyklisch betrieben, wobei eine übliche Zykluszahl beispielsweise 75 bis 150
20 Zyklen pro Tag beträgt. Nach Ablauf der Zykluszeit wird die Funktion der Schächte 2 getauscht. Dieser Vorgang wiederholt sich fortlaufend. Über die Materialeinlässe 3 wird abwechselnd Material wie Kalk- oder Dolomitstein in die Schächte 2 aufgegeben. In dem als Brennschacht 2a betriebenen, aktiven Schacht 2 wird über die Brennerlanzen 10 ein Brennstoff in den Brennschacht 2 eingeleitet. Das zu brennende Material wird in der
25 Vorwärmzone 21 des Brennschachts 2a vorzugsweise auf eine Temperatur von etwa 700°C erwärmt. In dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 wird der linke Schacht 2 als Brennschacht 2a betrieben, wobei der rechte Schacht 2 als Regenerativschacht 2b betrieben wird.

30 Im Betrieb des GGR-Schachtofens 1 strömt sowohl in dem Brennschacht 2a als auch in dem Regenerativschacht 2b das Kühlgas im Gegenstrom zu dem zu kühlenden Material durch die Kühlzone 22 und wird vorzugsweise vollständig in die Brennzone 20 geleitet.

Innerhalb des als Brennschacht 2a betriebenen Schachts 2 strömt das Verbrennungsgas durch den Verbrennungsgaseinlass 12 in den Brennschacht und im Gleichstrom mit dem Material innerhalb der Brennzone 20 in den Verbindungskanal 19 und anschließend in den als Regenerativschacht 2b betriebenen Schacht 2. Innerhalb des
5 Regenerativschachts 2b strömt das Gas von dem Verbindungskanal 19 im Gegenstrom zu dem zu brennenden Material durch die Brennzone 20 in die Vorwärmzone 21 und verlässt den Regenerativschacht 2b durch den Abgasauslass 6 des Regenerativschachts 2b. Vorzugsweise weist das aus dem Schacht 2 ausgelassene Abgas eine Temperatur von 60°C bis 160°C, vorzugsweise 100°C auf.

10

Das Abgas wird in eine sich an den Abgasauslass 6 anschließende Abgasleitung 39 geleitet. Die Abgasleitung 39 weist in Strömungsrichtung des Abgases im Anschluss an den Abgasauslass 6 optional einen Abgasfilter 31 zum Filtern von feinen Partikeln, insbesondere Staub, aus dem Abgas auf. Der GGR-Schachtofen 1 weist vorzugsweise
15 eine Mehrzahl von Regelorganen auf, wobei insbesondere jeweils ein Regelorgan jeweils einem Abgasauslass 6 oder Verbrennungsgaseinlass 12 zugeordnet ist zur Regelung der Strömung zu oder von dem Abgasauslass 6 und dem Verbrennungsgaseinlass 12. Bei dem Regelorgan handelt es sich beispielsweise um eine Drosselklappe oder einen Verdichter. Der Verbrennungsgaseinlass 12 ist vorzugsweise mit einer
20 Oxidationsmittelleitung 14 verbunden, sodass ein Oxidationsmittel, vorzugsweise Luft oder reiner Sauerstoff, in den Verbrennungsgaseinlass 12 eingeführt wird. Es ist ebenfalls denkbar, dass es sich bei dem Oxidationsmittel um ein sauerstoffreiches Gas mit einem Sauerstoffanteil von mindestens 30vol%, insbesondere mindestens 50vol% oder 60vol%, vorzugsweise 70vol% bis 95vol%, vorzugsweise 90vol% handelt. Der
25 Verbrennungsgaseinlass 12 ist vorzugsweise mit einem vorgeschalteten Regelorgan verbunden, sodass vorzugsweise lediglich dem Verbrennungsgaseinlass 12 des als Brennschacht 2a betriebenen Schachts 2 das Oxidationsmittel zugeführt wird.

30

Die Abgasleitung 39 weist beispielhaft stromabwärts des Abgasfilters 31 einen Verdichter 34 und eine Kühleinrichtung 32 auf. Im Anschluss an die Kühleinrichtung 32 wird das Abgas vorzugsweise abgeführt. Vorzugsweise wird gesamte CO₂-Menge aus der Kalzinierung und der Verbrennung sowie das Wasser aus der Verbrennung aus dem GGR-Schachtofen 1 abgeführt. Die Kühleinrichtung 32 ist beispielsweise ein

Wärmetauscher, der vorzugsweise mit einem Kühlmittel, wie Wasser, im Gegenstrom betrieben wird.

Die Oxidationsmittelleitung 14 weist vorzugsweise ein Regelorgan auf, wie
5 beispielsweise ein Ventil oder eine Klappe auf, über welches die Menge an Oxidationsmittel in den Verbrennungsgaseinlass 12 einstellbar ist.

Das Abgas des GGR-Schachtofens der Fig. 1 weist vorzugsweis einen CO₂-Anteil von 30vol%-40vol%, insbesondere 35vol% auf.

10 Der GGR-Schachtofen 1 weist vorzugsweise einen Kühlgasauslass 17 zum Auslassen von Kühlgas aus dem Schacht 2, insbesondere aus dem Regenerativschacht 2b. Der Kühlgasauslass 17 ist beispielhaft in der Vorwärmzone 21 des GGR-Schachtofens 1, insbesondere des Regenerativschachts 2b, angeordnet. Vorzugsweise weist jeder
15 Schacht 2 einen Kühlgasauslass 17 auf. Insbesondere ist der Kühlgasauslass 17 in der Außenwand des Schachts 2, vorzugsweise in der Außenwand der Vorwärmzone 21 oder der Brennzone 20, angeordnet und erstreckt sich vollständig durch diese hindurch aus dem jeweiligen Schacht 2 heraus. Der Kühlgasauslass 17 ist vorzugsweise vollständig innerhalb der Vorwärmzone 21 angeordnet, sodass das Kühlgas durch den
20 Kühlgasauslass 17 aus der Vorwärmzone 21 und dem Schacht 2 heraus geleitet wird. Der Kühlgasauslass 17 ist vorzugsweise gastechnisch mit der Vorwärmzone 21 verbunden, sodass das Kühlgas vorzugsweise durch die Kühlzone 22 und die Brennzone 20 in die Vorwärmzone 21 und anschließend durch den Kühlgasauslass 17 strömbar ist. Vorzugsweise ist der Kühlgasauslass 17 in einem Bereich der Außenwand der
25 Vorwärmzone 21 angeordnet, der dem Verbindungskanal 19 abgewandt ist. Der Kühlgasauslass 17 ist vorzugsweise in der dem Verbindungskanal 19 gegenüberliegenden Außenwand des Schachts 2, insbesondere des Regenerativschachts 2b angeordnet.

30 Im Betrieb des GGR-Schachtofens 1 strömt das Kühlgas vorzugsweise von der Kühlzone 22 in die Brennzone 20 und anschließend zusammen mit dem Abgas der Brennzone 20 durch die Brennzone 20 in die Vorwärmzone 21 und verlässt durch den in der Vorwärmzone 21 angeordneten Kühlgasauslass 17 den Schacht 2, insbesondere den Regenerativschacht 2b. Fig. 1 zeigt zusätzlich die Gasströmung innerhalb des GGR-

- Ofens 1, wobei das CO₂-haltige Verbrennungsgas mit den schwarz ausgefüllten Pfeilen und das sauerstoffhaltige Kühlgas mit den weiß ausgefüllten Pfeilen dargestellt ist. Gemäß einer Erkenntnis der Erfinder, strömt das sauerstoffhaltige Kühlgas in dem Regenerativschacht 2b entlang der dem Verbindungskanal 19 gegenüberliegenden
- 5 Außenwand des Regenerativschachts 2b in die Brennzone 20 und die Vorwärmzone 21. Vorzugsweise strömt das sauerstoffhaltige Kühlgas im Wesentlichen separat zu dem Verbrennungsgas innerhalb der Schächte 2, sodass es nur zu einer sehr geringen Vermischung der Gasströme des Verbrennungsgases und des Kühlgases kommt. Ein Abzug des Kühlgases über den Kühlgasauslass in der Vorwärmzone oder der Brennzone
- 10 bietet den Vorteil gegenüber einem Abzug des Kühlgases aus der Kühlzone, dass die Wärmemenge des Kühlgases dem GGR-Schachtofen 1 zusätzlich in der Brennzone 20 und der Vorwärmzone 21 zur Erwärmung des Materials zur Verfügung steht. In dem erfindungsgemäßen GGR-Schachtofen 1 strömt die Kühlluft vorzugsweise durch einen Großteil, insbesondere fast die gesamte Menge, des Materialbetts und weist eine
- 15 vergleichsweise niedrige Auslasstemperatur auf. Dies führt zu einer optimalen Wärmebilanz, wobei keine zusätzliche Bauhöhe des GGR-Schachtofens 1 erforderlich ist. Des Weiteren kann auf einen dem Kühlgasauslass nachgeschalteten Rekuperator zur Nutzung der Abwärme verzichtet werden.
- 20 Der Kühlgasauslass 17 ist vorzugsweise in Gasströmungsrichtung des Regenerativschachts 2b stromabwärts der Enden, insbesondere Brennstoffauslässe, der Brennerlanzen 10 angeordnet. Vorzugsweise ist der Kühlgasauslass 17 in Materialströmungsrichtung stromabwärts des Abgasauslasses 6 angeordnet.
- 25 Der Kühlgasauslass 17 ist beispielsweise schlitzförmig ausgebildet. Insbesondere erstreckt sich der Kühlgasauslass 17 in horizontaler Richtung vorzugsweise über die gesamte Breite der Schachtaußenwand. Es ist ebenfalls denkbar, dass der Kühlgasauslass 17 eine Mehrzahl von sich durch die Außenwand des Schachts 2, insbesondere der Vorwärmzone 21, erstreckende Öffnungen aufweist, die beispielsweise
- 30 horizontal nebeneinander über die gesamte Breite der Außenwand des Schachts 2 angeordnet und vorzugsweise gleichmäßig zueinander beabstandet sind.

Die Brennerlanzen 10 weisen beispielsweise in Fig. 1 nicht dargestellte Abdeckungen auf, die in Strömungsrichtung des Materials stromaufwärts der Einlässe der

Brennerlanzen 10 in den jeweiligen Schacht 2 angeordnet sind. Die Abdeckungen sind derart ausgebildet und angeordnet, dass sie zumindest den oberen Bereich der Brennerlanzen 10 jeweils vor einem Kontakt, insbesondere Aufprallen des Materials auf die Brennerlanzen 10 schützen. Der Kühlgasauslass 17 ist vorzugsweise unterhalb der Abdeckung, insbesondere in Materialströmungsrichtung stromabwärts der Abdeckung angeordnet.

Der Schacht 2 weist vorzugsweise eine Ausmauerung auf, die insbesondere eine feuerfeste Auskleidung umfasst. Der Kühlgasauslass 17 ist vorzugsweise an dem oberen Endbereich der Ausmauerung angeordnet.

Der GGR-Schachtofen 1 weist vorzugsweise eine Kühlgasabzugsleitung 11 auf, die mit dem Kühlgasauslass 17 zum Leiten der Kühlluft aus dem Schacht 2 heraus verbunden ist. Die Kühlgasabzugsleitung 11 ist außerhalb des Schachts angeordnet und mit einem Filter 16 verbunden. Bei dem Filter 16 handelt es sich vorzugsweise um einen Partikelfilter, insbesondere Staubfilter. Die über den Kühlluftauslass 17 abgezogene Kühlluft weist vorzugsweise eine Temperatur von 200°C bis 400°C auf. Beispielfhaft umfasst die Kühlluftabzugsleitung 11 des GGR-Schachtofens 1 ein Regelorgan 8, wie beispielsweise eine Klappe oder ein Ventil zum Einstellen der Menge an Kühlluft, die aus der Vorwärmzone 21 oder der Brennzone 20 über den Kühlgasauslass abgezogen wird. Beispielfhaft wird der Kühlgasabzugsleitung 11 Luft über einen Verdichter oder Ventilator zugeführt. Beispielfweise umfasst die Kühlgasabzugsleitung 11 zumindest zwei Regelorgane, wobei jedes Regelorgan 8 zur Einstellung der jeweiligen Kühlgasmenge jeweils einem Kühlgasauslass 17 zugeordnet ist. Vorzugsweise ist ausschließlich das dem als Regenerativschacht 2b betriebenen Schachts 2 zugeordnete Regelorgan 8 geöffnet, wobei das dem Brennschacht 2a zugeordnete Regelorgan 8 geschlossen ist. Stromabwärts des Filters 16 wird das Kühlgas vorzugsweise aus dem GGR-Schachtofen 1 abgeführt. Es ist ebenfalls denkbar, dass die Kühlgasabzugsleitung 11 mit der Oxidationsmittelleitung 14, insbesondere dem Verbrennungsgaseinlass 12 verbunden ist, sodass die abgezogene Kühlluft dem Brennschacht 2a als Verbrennungsgas zugeführt wird. Vorteilhafterweise wird bei einer solchen Verschaltung kein CO₂ über den Kühlgasauslass 17 in die Atmosphäre entlassen sondern das gesamte Abgas wird über den Abgasauslass abgeführt und anschließend vorzugsweise nachbehandelt oder gespeichert.

Vorzugsweise weist jeder Schacht 2 einen in der Kühlzone 22 angeordneten Kühlgaseinlass 23 auf, der insbesondere mit einer Kühlgaszufuhrleitung 7 verbunden ist. Jedem Kühlgaseinlass 23 ist beispielhaft jeweils ein Regelorgan 4, wie eine Klappe oder ein Ventil, zugeordnet, das mit der Kühlgaszufuhrleitung 7 zur Einstellung der Menge an dem jeweiligen Kühlgaseinlass 23 zugeführtem Kühlgas verbunden ist. Vorzugsweise sind die Regelorgane 4 derart eingestellt, dass dem Brennschacht 2a eine geringere Kühlluftmenge zugeführt wird als dem Regenerativschacht 2b. Vorzugsweise wird dem Brennschacht 2a etwa 20% bis 30%, vorzugsweise 25% der dem GGR-Schachtofen 1 zugeführten Gesamtkühlgasmenge zugeführt.

Der GGR-Schachtofen 1 der Fig. 1 weist vorzugsweise ein Abgas mit einem CO₂-Gehalt von mehr als 30vol%.

Fig. 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines GGR-Schachtofens, wobei dieser größtenteils dem GGR-Schachtofen der Fig. 1 entspricht. Gleiche Elemente sind mit gleichen Bezugszeichen versehen. In dem GGR-Schachtofen 1 der Fig. 2 wird ebenfalls beispielhaft der linke Schacht 2 als Brennschacht 2a betrieben. Im Unterschied zu dem GGR-Schachtofen der Fig. 1 weist der GGR-Schachtofen 1 der Fig. 2 eine Abgasrückführungsleitung 15, die von der Abgasleitung 39 abzweigt und einen Teil des Abgases dem Verbrennungsgaseinlass 12 des Schachts 2, insbesondere des Brennschachts 2a, zuführt. Die Abgasrückführungsleitung 15 ist vorzugsweise mit dem Verbrennungsgaseinlass 12 verbunden und zweigt insbesondere stromabwärts der Kühleinrichtung 32 von der Abgasleitung 39 ab. Das nicht über die Abgasrückführungsleitung 15 dem Verbrennungsgaseinlass 12 zugeführte Abgas wird vorzugsweise aus dem GGR-Schachtofen 1 abgeführt. Die Abgasrückführungsleitung 15 ist beispielhaft mit einer Oxidationsmittelleitung 14 zur Leitung eines Oxidationsmittels in die Abgasrückführungsleitung 15 verbunden. Bei dem Oxidationsmittel handelt es sich vorzugsweise um Luft oder reinen Sauerstoff. Beispielsweise handelt es sich bei dem Oxidationsmittel um ein sauerstoffreiches Gas mit einem Sauerstoffanteil von mindestens 30vol%, insbesondere mindestens 50vol% oder 60vol%, vorzugsweise 70vol% bis 95vol%, vorzugsweise 90vol%. Die Oxidationsmittelleitung 14 ist vorzugsweise mit einer Oxidationsmittelquelle verbunden und weist vorzugsweise ein Regelorgan zur Einstellung der Menge an Oxidationsmittel in die Abgasrückführungsleitung 15 auf.

Der GGR-Schachtofen 1 der Fig.2 weist beispielhaft einen Wärmetauscher 24 auf, der mit der Abgasrückführungsleitung 15 und der Kühlluftabzugsleitung 11 verbunden ist. Optional ist kein Wärmetauscher 24 und vorzugsweise auch kein Ventilator zur Zufuhr von Luft in die Kühlgasabzugsleitung 11 vorgesehen. Der GGR-Schachtofen 1 der Fig. 1 weist vorzugsweise ein Abgas mit einem CO₂-Gehalt von mehr als 70vol%, insbesondere mehr als 75vol% auf, wobei vorzugsweise ein Abgas mit einem CO₂-Gehalt von etwa 50vol% erreichbar ist, wenn auf den vorangehend beschriebenen Wärmetauscher 24 und vorzugsweise auch den Ventilator in der Kühlgasabzugsleitung 11 verzichtet wird. Bei einem solchen Prozessabgas ist es mit geringerem Aufwand möglich, dieses zu verflüssigen und zu sequestrieren. Beispielsweise wird das verflüssigte Prozessabgas weiteren Verfahrensschritten zugeführt oder gelagert. Alternativ kann mit dem vorangehend beschriebenen GGR-Schachtofen auch Abgas mit weniger CO₂-Gehalt, beispielsweise 45% für die Sodaherstellung oder 30% für die Herstellung Rübenzucker oder gefälltem Kalziumkarbonat, erzeugt werden.

Fig. 3a und b zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines GGR-Schachtofens 1, wobei dieser größtenteils dem GGR-Schachtofen der Fig. 1 und 2 entspricht. Gleiche Elemente sind mit gleichen Bezugszeichen versehen. Fig. B zeigt eine Schnittansicht des GGR-Schachtofens an dem in Fig. 3a eingezeichneten Schnitt A-A. Die Kühlgasabzugsleitung 11, die Abgasrückführungsleitung 15, die Brennstoffleitung 9 und die Oxidationsmittelleitung 14 sind der Einfachheit halber nicht dargestellt. Im Unterschied zu dem GGR-Schachtofen der Fig. 1 und 2 weist der GGR-Schachtofen 1 der Fig. 3 einen indirekten Verbindungskanal 19 auf. Die Brennzone 20 erstreckt sich beispielhaft in einem Schachtabschnitt mit einem im Wesentlichen konstanten Querschnitt. Der Schachtabschnitt erstreckt sich beispielhaft mit seinem unteren Bereich in den oberen Bereich der Kühlzone 22 hinein, sodass sich ein Ringkanal 18 zwischen der Brennzone 20 und der Kühlzone 22 ausbildet. Der Ringkanal 18 bildet einen materialfreien Raum aus, in dem kein zu brennendes Material angeordnet ist. Der Ringkanal 18 erstreckt sich vorzugsweise umfangsmäßig um den unteren Bereich der Brennzone 20. Die Schächte 2 der Fig. 3a weisen beispielsweise jeweils einen Ringkanal 18 auf, der mit dem Verbindungskanal 19 verbunden ist. Vorzugsweise ist der Ringkanal 18 auf der Höhe des Verbindungskanals 19 angeordnet, sodass der Verbindungskanal 19 als indirekter Verbindungskanal ausgebildet ist. Unter einem indirekten Verbindungskanal 19 wird ein

Verbindungskanal verstanden, der mit einem Ringkanal 18 gastechnisch verbunden ist, sodass das Kühlgas zusammen mit dem Verbrennungsgas des Brennschachts 2a über den Ringkanal 18 des Brennschachts 2a in den Verbindungskanal 19 und anschließend über den Ringkanal 18 des Regenerativschachts 2b in den Regenerativschacht 2b.
5 strömt. Der Querschnitt des Schachtabschnitts der Kühlzone 22 ist beispielhaft größer als der Querschnitt des unteren Bereichs der Brennzone 20, sodass sich an dem oberen Ende der Kühlzone 22 und angrenzend an die Brennzone 20 ein weiterer materialfreier Raum 18, insbesondere ein ringförmiger Absatz ausbildet, in dem kein Material angeordnet ist. Am unteren Ende der Kühlzone 22 ist eine vorzugsweise kegelförmige
10 Strömungseinrichtung angeordnet, die zur Leitung des Materials in Richtung der Schachtwand dient.

Der GGR-Schachtofen 1 der Fig. 3a und b umfasst beispielhaft eine Kühlgasabzugseinrichtung 26 zum Leiten des Kühlgases zu dem Kühlgasauslass 17 auf.
15 Die Kühlgasabzugseinrichtung 26 ist vorzugsweise zumindest teilweise oder vollständig innerhalb der Vorwärmzone 21 angeordnet. Insbesondere erstreckt sich die Kühlgasabzugseinrichtung 26 von der vertikalen Mittelachse des Schachts 2, insbesondere der Vorwärmzone 21 radial nach außen zu dem Kühlgasauslass 17 und ist vorzugsweise gastechnisch mit diesem verbunden. Die Kühlgasabzugseinrichtung 26
20 weist vorzugsweise eine Leitung 28, insbesondere eine Rohrleitung 28, auf, die mit dem Kühlgasauslass 17 verbunden ist und sich zumindest teilweise oder vollständig durch die Vorwärmzone 21 des Schachts 2, insbesondere des Regenerativschachts 2b erstreckt. Die Kühlgasabzugseinrichtung 26 umfasst vorzugsweise auch eine Abzugshaube 30, die vorzugsweise koaxial zu dem Schacht 2 innerhalb der Vorwärmzone 21 angeordnet ist.
25 Die Abzugshaube 30 weist vorzugsweise einen runden, insbesondere kreisförmigen Querschnitt auf, und ist beispielsweise topfförmig oder trichterförmig ausgebildet und vorzugsweise nach unten geöffnet.

Die Schächte 2 des GGR-Schachtofens 1 der Fig. 3a und b weist vorzugsweise einen
30 runden, insbesondere einen kreisförmigen Querschnitt auf. Die Schächte können auch einen vollkreisförmigen, halbkreisförmigen oder teilkreisförmigen Querschnitt aufweisen.

Fig. 4a zeigt den GGR-Schachtofen der Fig. 1 und 2 und Fig. 4b zeigt den GGR-Schachtofen 1 der Fig. 3a und b, wobei die Gasströmungen der Kuhlluft K und der

Verbrennungsgase V dargestellt ist. Der GGR-Schachtofen 1 der Fig. 4a weist den direkten Verbindungskanal 19 auf, sodass die Kühlluft in dem Regenerativschacht 2b entlang der dem Verbindungskanal 19 gegenüberliegenden seitlichen Außenwand durch den Regenerativschacht 2b strömt.

5

Der GGR-Schachtofen 1 der Fig. 4b weist den indirekten Verbindungskanal 19 auf, sodass die Kühlluft in dem Regenerativschacht 2b entlang der vertikalen Mittelachse des Schachts 2 durch den Regenerativschacht 2b strömt. Die Fig. 4a und b zeigen ebenfalls Bereiche, in denen es zu einer Vermischung des Verbrennungsgases mit dem Kühlgas kommt. Diese Bereiche sind vorzugsweise sehr gering, sodass das Abgas einen sehr geringen Sauerstoffgehalt von etwa maximal 10vol% aufweist.

10

Bezugszeichenliste

	1	GGR-Schachtofen
	2	Schacht
	2a	Brennschacht
5	2b	Regenerativschacht
	3	Materialeinlass / Schleuse
	4	Regelorgan
	6	Abgasauslass
	7	Kühlgaszufuhrleitung
10	8	Regelorgan
	9	Brennstoffleitung
	10	Brennerlanzen
	11	Kühlgasabzugsleitung
	12	Verbrennungsgaseinlass
15	14	Oxidationsmittelleitung
	15	Abgasrückführungsleitung
	16	Filter
	17	Kühlgasauslass
	18	Ringkanal / materialfreier Raum
20	19	Verbindungskanal
	20	Brennzone
	21	Vorwärmzone
	22	Kühlzone
	23	Kühlgaseinlass
25	24	Wärmetauscher
	25	Auslasstrichter
	26	Kühlgasabzugseinrichtung
	28	Leitung
	30	Abzugshaube
30	31	Abgasfilter
	32	Kühleinrichtung
	33, 34	Verdichter
	39	Abgasleitung
	40	Materialauslass / Schleuse
35	K	Kühlluft
	V	Verbrennungsluft

Patentansprüche

1. Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (1) zum Brennen und Kühlen von Material, wie Karbonatgesteinen, mit zwei Schächten (2), die abwechselnd als Brennschacht (2a) und als Regenerativschacht (2b) betreibbar und mittels eines Verbindungskanals (19) miteinander verbunden sind,
wobei jeder Schacht (2) in Strömungsrichtung des Materials eine Vorwärmzone (21) zum Vorwärmen des Materials, eine Brennzone (20) zum Brennen des Materials und eine Kühlzone (22) zum Kühlen des Materials aufweist,
wobei jeder Schacht (2) einen Abgasauslass (6) zum Auslassen von Abgas aus dem Schacht (2) aufweist,
dadurch gekennzeichnet, dass
der GGR-Schachtofen (1) einen Kühlgasauslass (17) zum Auslassen von Kühlgas aus dem Schacht (2) aufweist und wobei der Kühlgasauslass (17) in der Vorwärmzone (21) oder der Brennzone (20) angeordnet ist.
2. Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (1) nach Anspruch 1, wobei der Kühlgasauslass (17) in der Außenwand des Schachts (2) angeordnet ist.
3. Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei eine oder eine Mehrzahl von Brennerlanzen (10) derart angeordnet sind, dass sie in die Brennzone (20) münden und wobei der Kühlgasauslass (17) in Gasströmungsrichtung des Regenerativschachts (2b) stromabwärts zumindest einer der Mündungen der Brennerlanzen (10) angeordnet ist.
4. Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei jeder Schacht (2) einen Kühlgasauslass (17) aufweist und wobei jedem Kühlgasauslass (17) jeweils ein Regelorgan zur Einstellung der über den Kühlgasauslass (17) abzuführenden Kühlgasmenge zugeordnet ist und wobei das dem Kühlgasauslass (17) des Brennschachts (2a) zugeordnete Regelorgan (8) geschlossen ist.

5. Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Kühlgasauslass (17) in einem dem Verbindungskanal (19) abgewandten Bereich der Außenwand der Vorwärmzone (21) oder der Brennzone (20) angeordnet ist.

- 5 6. Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (1) nach Anspruch 5, wobei sich der Kühlgasauslass (17) in der Außenwand des Schachts (2) in horizontaler Richtung erstreckt.

- 10 7. Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der GGR-Schachtofen (1) eine Kühlgasabzugseinrichtung (26) aufweist, die zum Leiten des Kühlgases mit dem Kühlgasauslass (17) verbunden ist und sich von der Mittelachse des Schachts (2) zu dem Kühlgasauslass (17) erstreckt.

- 15 8. Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (1) nach Anspruch 7, wobei die Kühlgasabzugseinrichtung (26) eine Abzugshaube (30) und eine mit dieser gastechnisch verbundene Leitung (28) aufweist.

- 20 9. Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der GGR-Schachtofen (1) einen Verbrennungsgaseinlass (12) aufweist, der mit einer Verbrennungsgasquelle verbunden ist, die ein Verbrennungsgas mit einem Sauerstoffgehalt von mehr als 60vol%, vorzugsweise mehr als 75vol%, insbesondere mehr als 80vol% bis mehr
25 als 95vol% Sauerstoff umfasst.

10. Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei jeder Schacht (2) jeweils einen Kühlgaseinlass (23) aufweist, dem jeweils ein Regelorgan (4) zur Einstellung der Menge an dem jeweiligen Kühlgaseinlass (23) zugeführtem Kühlgas, zugeordnet ist und wobei die Regelorgane (4) derart eingestellt sind, dass dem Brennschacht (2a) eine geringere Kühlluftmenge zugeführt wird als dem Regenerativschacht (2b).

- 30 11. Verfahren zum Brennen von Material, wie Karbonatgesteinen, in einem Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen (1) mit zwei Schächten (2),

die abwechselnd als Brennschacht und als Regenerativschacht betrieben werden und mittels eines Verbindungskanals (19) miteinander verbunden sind, wobei das Material durch einen Materialeinlass (3) in eine Vorwärmzone (21) zum Vorwärmen des Materials, eine Brennzone (20) zum Brennen des Materials und eine Kühlzone (22) zum Kühlen des Materials zu einem Materialauslass (40) strömt,

wobei ein Kühlgas in die Kühlzone eingelassen wird,

wobei Abgas über einen Abgasauslass (6) aus einem der Schächte (2) ausgelassen wird und

dadurch gekennzeichnet, dass

das Kühlgas über einen Kühlgasauslass (17) in der Vorwärmzone (21) oder der Brennzone (20) aus zumindest einem der Schächte (2) ausgelassen wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Kühlgas über einen in der Außenwand des Schachts (2) angeordneten Kühlgasauslass (17) aus dem Schacht (2) ausgelassen wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei das Kühlgas aus dem Regenerativschacht (2b) ausgelassen wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei die Menge an über den Kühlgasauslass (17) aus dem Regenerativschacht (2b) ausgelassenen Kühlgases mittels eines Regelorgans (8) einstellbar ist.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei dem GGR-Schachtofen (1) ein Verbrennungsgas mit einem Sauerstoffgehalt von mehr als 60vol%, vorzugsweise mehr als 75vol%, insbesondere mehr als 80vol% bis mehr als 95vol% Sauerstoff zugeführt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, wobei dem Brennschacht (2a) eine geringere Kühlluftmenge zugeführt wird als dem Regenerativschacht (2b).

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 16, wobei das mittig durch die Vorwärmzone (21) strömende Kühlgas abgeführt wird.

5 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 16, wobei das entlang der Außenwand der Vorwärmzone (21) strömende Kühlgas abgeführt wird.

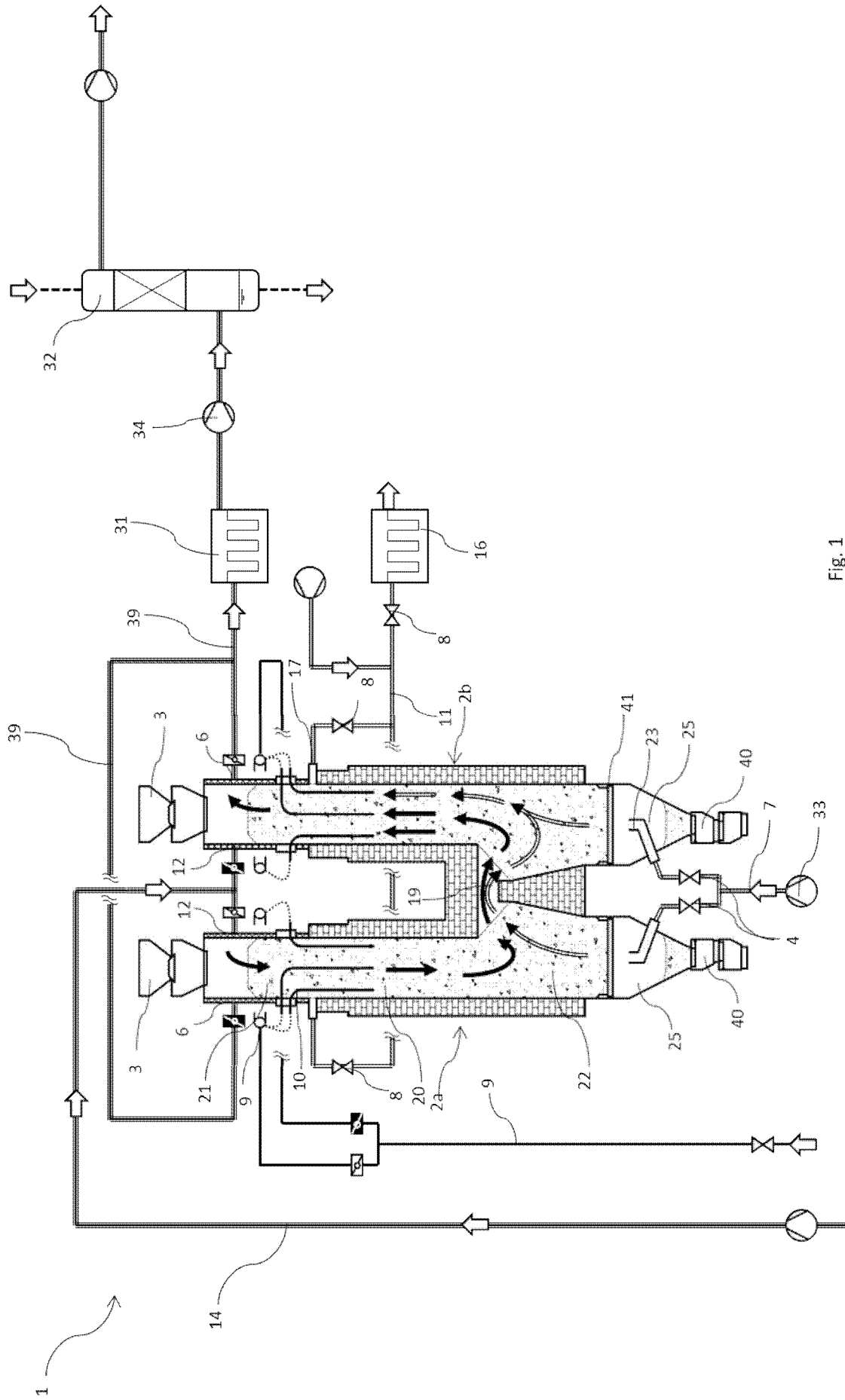
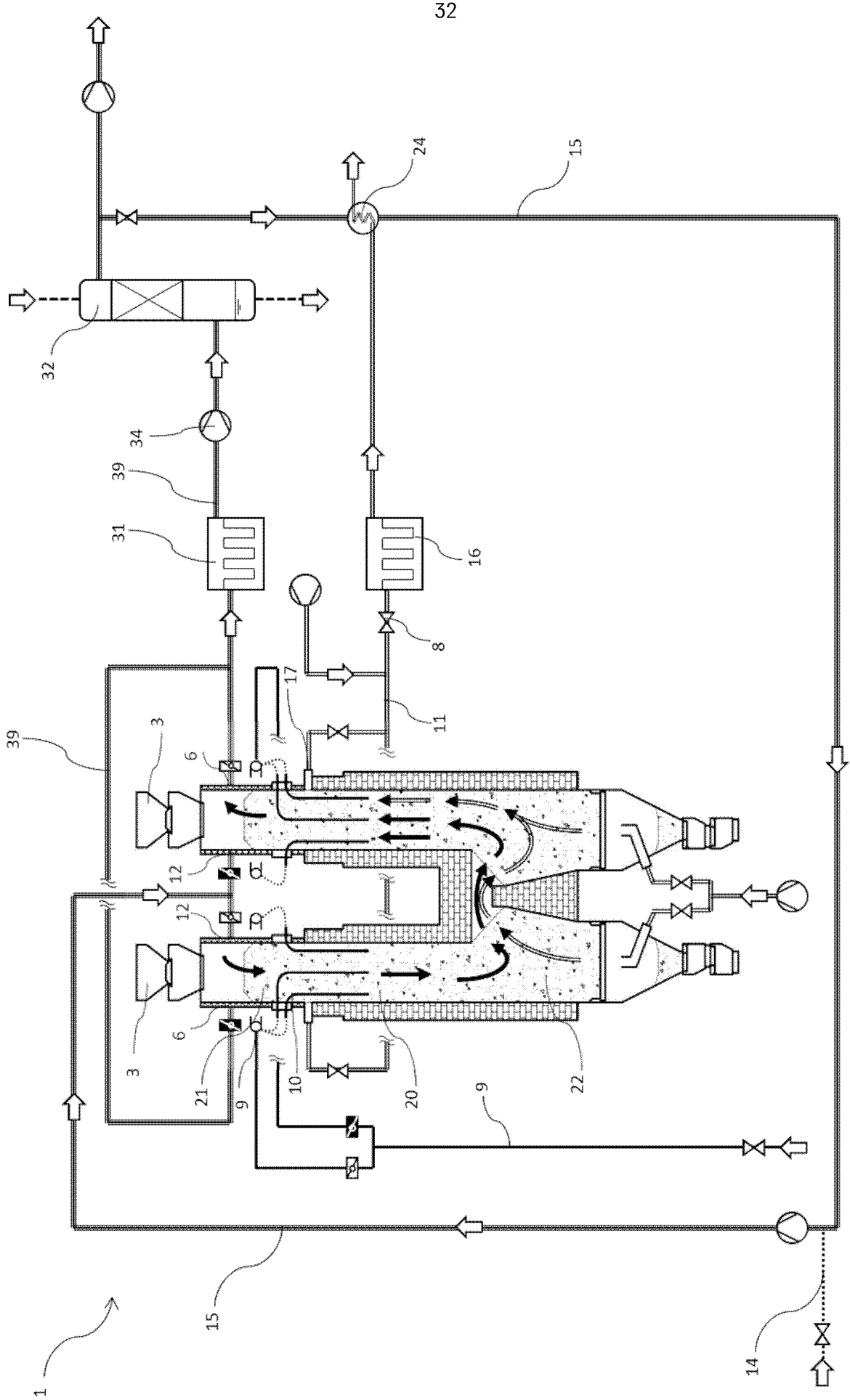


Fig. 1

Fig. 2



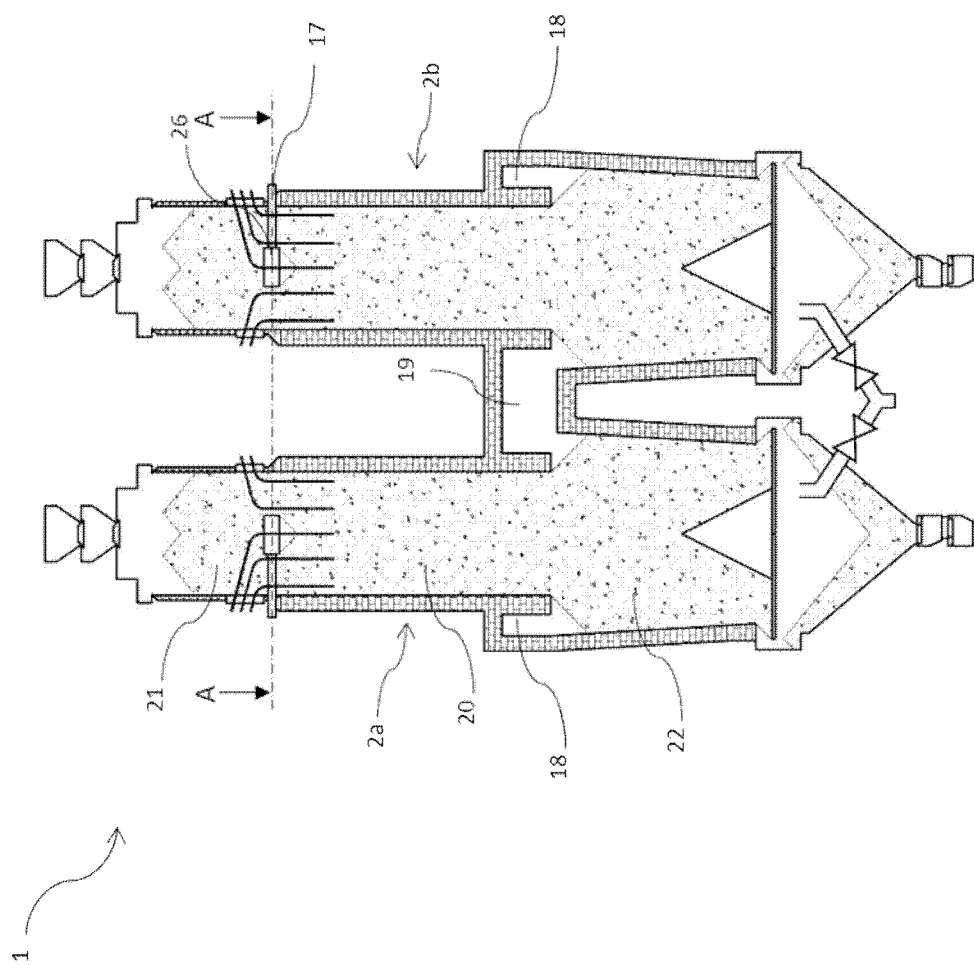
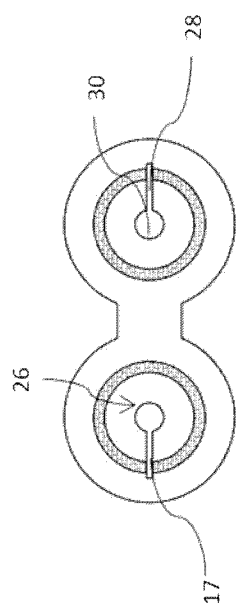


Fig. 3a



Schnitt A-A

Fig. 3b



VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

RECHERCHENBERICHT INTERNATIONALER ART NACH ARTIKEL XI.23.,

§10 DES BELGISCHEN WIRTSCHAFTSGESETZBUCHES

KENNZEICHNUNG DER NATIONALEN ANMELDUNG	AKTENZEICHEN DES ANMELDERS ODER ANWALTS
	230309P00BE
Nationales Aktenzeichen	Anmeldedatum
202305381	10-05-2023
Anmeldeland	Beanspruchtes Prioritätsdatum
Anmelder (Name)	
thyssenkrupp AG, et al	
Datum des Antrags auf eine Recherche Internationaler Art	Nummer, die die internationale Recherchenbehörde dem Antrag auf eine Recherche internationaler Art zugeteilt hat
17-06-2023	SN84062
I. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (treffen mehrere Klassifikationssymbole zu, so sind alle anzugeben)	
Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder sowohl nach der nationalen Klassifikation als auch nach der IPC	
Siehe Recherchenbericht	
II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE	
Recherchierter Mindestprüfstoff	
Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole
IPC	Siehe Recherchenbericht
Recherchierte, nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen	
III. ☐ EINIGE ANSPRÜCHE HABEN SICH ALS NICHT RECHERCHIERBAR ERWIESEN	
(Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)	
IV. ☐ MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG	
(Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)	

Nr. des Antrags auf Recherche

BE 202305381

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV.	F27B1/00	F27B1/02	F27B1/10	F27B1/24	F27B1/26
	F27D9/00	F27D17/00	C04B2/08	C04B2/12	

ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

F27B F27D C04B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 453 831 B1 (ZEISEL PETER [DE]) 24. September 2002 (2002-09-24) * Abbildungen 1-5 * * Seite 1, Zeile 5 - Zeile 29 * * Seite 3, Zeile 13 - Zeile 20 * * Seite 3, Zeile 21 - Seite 7, Zeile 24 * * Seite 8, Zeile 6 - Seite 13, Zeile 9 * -----	1-18
X	WO 2022/194593 A1 (MAERZ OFENBAU [CH]; THYSSENKRUPP IND SOLUTIONS AG [DE] ET AL.) 22. September 2022 (2022-09-22) * Abbildungen 1-7 * * Seite 1, Zeile 4 - Zeile 6 * * Seite 1, Zeile 21 - Seite 2, Zeile 2 * * Seite 13, Zeile 21 - Seite 25, Zeile 15; Abbildungen 1, 2 * ----- -/--	1-18

☒

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒

Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll, oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist.

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des tatsächlichen Abschlusses der Recherche internationaler Art

7. November 2023

Absendedatum des Berichts über die Recherche internationaler Art

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Jung, Régis

C.(Fortsetzung). ALS WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2021 204175 A1 (MAERZ OFENBAU [CH]; THYSSENKRUPP AG [DE] ET AL.) 27. Oktober 2022 (2022-10-27) * Absatz [0016] – Absatz [0023] * * Abbildungen 1, 2 * * Absatz [0032] * * Absatz [0060] – Absatz [0062] * -----	1-18

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Nr. des Antrags auf Recherche

BE 202305381

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6453831	B1	24-09-2002	AT E201011 T1 15-05-2001
		DK 1038851 T3 27-08-2001	
		EP 1038851 A1 27-09-2000	
		US 6453831 B1 24-09-2002	
		WO 0051946 A2 08-09-2000	

WO 2022194593	A1	22-09-2022	KEINE

DE 102021204175	A1	27-10-2022	KEINE



SCHRIFTLICHER BESCHEID

Dossier Nr. SN84062	Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 10.05.2023	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr)	Anmeldung Nr. BE202305381
Internationale Patentklassifikation (IPK) INV. F27B1/00 F27B1/02 F27B1/10 F27B1/24 F27B1/26 F27D9/00 F27D17/00 C04B2/08 C04B2/12			
Anmelder thyssenkrupp AG, et al			

Dieser Bescheid enthält Angaben und entsprechende Seiten zu folgenden Punkten:

- ☒ Feld Nr. I Grundlage des Bescheids
- ☐ Feld Nr. II Priorität
- ☐ Feld Nr. III Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
- ☐ Feld Nr. IV Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung
- ☒ Feld Nr. V Begründete Feststellung hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung
- ☐ Feld Nr. VI Bestimmte angeführte Unterlagen
- ☒ Feld Nr. VII Bestimmte Mängel der Anmeldung
- ☒ Feld Nr. VIII Bestimmte Bemerkungen zur Anmeldung

Formblatt BE237A (Deckblatt) (Juli 2022)	Prüfer Jung, Régis
--	-----------------------

SCHRIFTLICHER BESCHEID

Feld Nr. I Grundlage des Bescheids

1. Dieser Bescheid wurde auf der Grundlage des vor dem Beginn der Recherche eingereichten Satzes von Ansprüchen erstellt.
2. Hinsichtlich der **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz**, die in der Anmeldung offenbart wurde, ist dieser Bescheid auf der Grundlage eines Sequenzprotokolls erstellt worden, das
 - a. ☐ im Anmeldezeitpunkt Bestandteil der Anmeldung war.
 - b. ☐ nach dem Anmeldedatum für die Zwecke der Recherche eingereicht wurde
 - ☐ begleitet von einer Erklärung, wonach das Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht.
3. ☐ Hinsichtlich der Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz, die in der Anmeldung offenbart wurde, ist dieser Bescheid insoweit erstellt worden, dass ein sinnvolles Gutachten ohne ein dem WIPO-Standard ST.26 entsprechendes Sequenzprotokoll erstellt werden konnte.
4. Zusätzliche Bemerkungen:

Feld Nr. V Begründete Feststellung hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1. Feststellung

Neuheit	Ja: Ansprüche 7-10, 15-18 Nein: Ansprüche 1-6, 11-14
Erfinderische Tätigkeit	Ja: Ansprüche Nein: Ansprüche 1-18
Gewerbliche Anwendbarkeit	Ja: Ansprüche: 1-18 Nein: Ansprüche:

2. Unterlagen und Erklärungen:

siehe Beiblatt

Feld Nr. VII Bestimmte Mängel der Anmeldung

Es wurde festgestellt, dass die Anmeldung nach Form oder Inhalt folgende Mängel aufweist:

siehe Beiblatt

Feld Nr. VIII Bestimmte Bemerkungen zur Anmeldung

siehe Beiblatt

Zu Punkt V

Begründete Feststellung hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1 Dokumente

Es wird auf die folgenden Dokumente verwiesen:

- | | |
|----|---|
| D1 | US 6 453 831 B1 (ZEISEL PETER [DE]) 24. September 2002 (2002-09-24) |
| D2 | WO 2022/194593 A1 (MAERZ OFENBAU [CH]; THYSSENKRUPP IND SOLUTIONS AG [DE] ET AL.) 22. September 2022 (2022-09-22) |
| D3 | DE 10 2021 204175 A1 (MAERZ OFENBAU [CH]; THYSSENKRUPP AG [DE] ET AL.) 27. Oktober 2022 (2022-10-27) |

2 Neuheit und erfinderische Tätigkeit

2.1 Unabhängiger Anspruch 1

Die vorliegende Anmeldung erfüllt nicht die Erfordernisse der Patentierbarkeit, weil der Gegenstand des Anspruchs 1 nicht neu ist.

D1 offenbart (Referenzzeichen zur D1 angepasst) ein Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen zum Brennen und Kühlen von Material, wie Karbonatgesteinen, mit zwei Schächten (1, 2), die abwechselnd als Brennschacht (1, 2) und als Regenerativschacht (1, 2) betreibbar und mittels eines Verbindungskanals (3) miteinander verbunden sind, wobei jeder Schacht (1, 2) in Strömungsrichtung des Materials eine Vorwärmzone (A) zum Vorwärmen des Materials, eine Brennzone (B) zum Brennen des Materials und eine Kühlzone (C) zum Kühlen des Materials aufweist, wobei jeder Schacht (1, 2) einen Abgasauslass (5) zum Auslassen von Abgas aus dem Schacht (1, 2) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass der GGR-Schachtofen einen Kühlgasauslass (7) zum Auslassen von Kühlgas aus dem Schacht (1, 2) aufweist und wobei der Kühlgasauslass (7) in der Vorwärmzone (A) oder der

Brennzone (B) angeordnet ist (Abbildungen 1-5; Seite 1, Zeile 5 - Zeile 29; Seite 3, Zeile 13 - Zeile 20; Seite 3, Zeile 21 - Seite 7, Zeile 24; Seite 8, Zeile 6 - Seite 13, Zeile 9).

Daher offenbart D1 alle technischen Merkmale der Gegenstand des Anspruchs 1 und der Gegenstand des Anspruchs 1 ist somit nicht neu.

Mit einer gleiche Argumentation wie oben (*mutatis mutandis*) offenbart D2 (Abbildungen 1-7; Seite 1, Zeile 4 - Zeile 6; Seite 1, Zeile 21 - Seite 2, Zeile 2; Seite 13, Zeile 21 - Seite 25, Zeile 15; Abbildungen 1, 2) auch alle technischen Merkmale der Gegenstand des Anspruchs 1.

2.2 Unabhängiger Anspruch 11

Die vorliegende Anmeldung erfüllt nicht die Erfordernisse der Patentierbarkeit, weil der Gegenstand des Anspruchs 11 nicht neu ist.

Mit einer gleiche Argumentation wie in Punkt 2.1 (*mutatis mutandis*) offenbaren D1 und D2 auch alle Verfahrensschritte der Gegenstand des Anspruchs 1 und der Gegenstand des Anspruchs 11 ist somit nicht neu.

2.3 Abhängige Ansprüche 2-10, 12-18

Die abhängigen Ansprüche 2-10, 12-18 enthalten keine Merkmale, die in Kombination mit den Merkmalen eines Anspruchs, auf den sie rückbezogen sind, die Erfordernisse in Bezug auf Neuheit bzw. erfinderische Tätigkeit erfüllen.

Der Gegenstand der Ansprüche 2-6, 12-14 ist bereits in D1 vorhanden und daher auch nicht neu.

D1 offenbart ein Gleichstrom-Gegenstrom-Regenerativ-Schachtofen:

-wobei der Kühlgasauslass (7) in der Außenwand des Schachts (1, 2) angeordnet ist.

-wobei eine oder eine Mehrzahl von Brennerlanzen (11) derart angeordnet sind, dass sie in die Brennzone (B) münden und wobei der Kühlgasauslass (7) in Gasströmungsrichtung des Regenerativschachts stromabwärts zumindest einer der Mündungen der Brennerlanzen (11) angeordnet ist.

-wobei jeder Schacht (1, 2) einen Kühlgasauslass (7) aufweist und wobei jedem Kühlgasauslass (7) jeweils ein Regelorgan zur Einstellung der über den Kühlgasauslass (7) abzuführenden Kühlgasmenge zugeordnet ist und wobei das dem Kühlgasauslass (7) des Brennschachts zugeordnete Regelorgan geschlossen ist.

-wobei der Kühlgasauslass (7) in einem dem Verbindungskanal (3) abgewandten Bereich der Außenwand der Vorwärmzone (A) oder der Brennzzone (B) angeordnet ist.

-wobei sich der Kühlgasauslass (7) in der Außenwand des Schachts (1, 2) in horizontaler Richtung erstreckt.

Der Gegenstand der Ansprüche 7-10, 15-18 ist eine bauliche Änderung die innerhalb dessen liegt, was ein Fachmann im Rahmen der üblichen Praxis zu tun pflegt, zumal die damit erreichten Vorteile ohne Weiteres im Voraus abzusehen sind. Folglich ist auch der Gegenstand der Ansprüche 7-10, 15-18 nicht erfinderisch.

Zu Punkt VII

Bestimmte Mängel in der Anmeldung

3 Weitere Mängel

In der Beschreibung werden weder der in D1-D3 offenbarte einschlägige Stand der Technik noch die Dokumente selbst angegeben.

Zu Punkt VIII

Bestimmte Bemerkungen zur Anmeldung

4 Klarheit

Die Ansprüche 1 und 9 sind nicht klar.

5

Der im Anspruch 1 benutzte Ausdruck "Kühlgasauslass" ist vage und unklar und lässt den Leser über die Bedeutung des betreffenden technischen Merkmals im Ungewissen (wie kann einen Kühlgasauslass in der Vorwärmzone oder der Brennzzone sein wenn eine Abgasleitung an der Vorwärmzone schon besteht). Dies hat zur Folge, dass die Definition des Anspruchsgegenstands nicht deutlich ist.

- 5.1 Wie nachstehend dargelegt, beziehen sich einige der Merkmale im Vorrichtungsanspruch 9 auf ein Verfahren zur Verwendung der Vorrichtung und nicht auf die Definition der Vorrichtung anhand ihrer technischen Merkmale (Die Zusammensetzung der Verbrennungsgasquelle ist kein technisches Merkmal des Ofens selbst.). Die beabsichtigten Beschränkungen gehen daher nicht klar aus dem Anspruch hervor.