



(11)

EP 3 580 312 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
16.12.2020 Patentblatt 2020/51

(51) Int Cl.:
C10J 3/22 *(2006.01)* **C10J 3/26** *(2006.01)*
C10J 3/46 *(2006.01)* **C10J 3/60** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **18704520.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2018/053133

(22) Anmeldetag: **08.02.2018**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2018/146179 (16.08.2018 Gazette 2018/33)

**(54) HERSTELLUNG VON SYNTHESSEGAS AUS KOHLENSTOFFFREICHEN SUBSTANZEN MITTELS
EINES KOMBINIERTES GLEICHSTROM-GENGENSTROM VERFAHRENS**

PREPARATION OF SYNTHESSEGAS FROM CARBONATED SUBSTANCES BY MEANS OF A
COMBINED COCURRENT-CONTERCURRENT PROCESS

PREPARATION DE SYNTHESSEGAS A PARTIR DE SUBSTANCES CARBONES AU MOYEN D'UNE
PROCEDURE COMBINÉ CO-COURANT ET CONTRE-COURANT

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **13.02.2017 DE 102017102789**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
18.12.2019 Patentblatt 2019/51

(73) Patentinhaber: **Ecoloop GmbH
83376 Truchtlaching (DE)**

(72) Erfinder:
• **BAUMANN, Leonhard**
94501 Aldersbach (DE)
• **MÖLLER, Roland**
38667 Bad Harzburg (DE)

(74) Vertreter: **Boult Wade Tennant LLP**
Salisbury Square House
8 Salisbury Square
London EC4Y 8AP (GB)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-2007/081296 WO-A2-2005/047435
US-A1- 2002 095 866

EP 3 580 312 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Synthesegas aus kohlenstoffreichen Substanzen unter Verwendung eines Vertikalschachtofens mit einem Schüttgutwanderbett

[0002] Verfahren zur Herstellung von Synthesegas sind bekannt und werden in Gegenstromvergäsern oder in mehrstufigen Vergäsern durchgeführt.

[0003] DE 10 2007 062 414 A1 beschreibt einen Gegenstromvergaser zur Vergasung von kohlenstoffreichen Substanzen, wobei der Gegenstromvergaser ein Wanderbett aus einem Material aufweist, das nicht an der Zersetzung bzw. Vergasung der kohlenstoffreichen Substanz teilnimmt und auch selbst nicht zersetzt oder vergast wird. Nachteilhaft an diesem Gegenstromverfahren ist, dass das erzeugte Synthesegas am Reaktorausstritt eine vergleichsweise niedrige Temperatur von weniger als 600 °C aufweist und deshalb aufgrund unvollständiger thermischer Spaltung noch unerwünschte langkettige Kohlenwasserstoffe enthält, die in einer Nachvergasungsanlage sowohl unter technischen Gesichtspunkten, als auch unter energetischen Gesichtspunkten aufwendig nachbehandelt werden müssen. Nur durch die Nachbehandlung lässt sich deren Anteil in dem Synthesegas reduzieren.

[0004] Zudem ist die Strömungsgeschwindigkeit des Synthesegases, das prinzipbedingt an einem oberen Ende der Gegenstromvergaser entnommen wird, sehr hoch, weil die gesamte erzeugte Synthesegasmenge verfahrensbedingt durch die im oberen Schachtbereich befindliche Pyrolysezone geleitet wird. Durch diese Strömungsgeschwindigkeit besteht die Gefahr, dass Kunststoffe durch den Gegenstrom bereits an dem oberen Ende des Gegenstromvergasers mit dem austretenden Synthesegas mitgerissen werden, bevor diese in die Schüttung des Wanderbetts eintreten können. Dadurch kann es zu unkontrollierter Pyrolyse von Kunststoffpartikeln im Rohgassystem und in nachgeschalteten Anlagenteilen kommen, wodurch nur unzureichend gespaltene Kunststoffpartikel zu Klumpen verbacken. Weiterhin besteht für ein im Kreislauf verwendetes Wanderbett die Gefahr, dass das Wanderbett dem Gegenstromvergaser mit einer zu hohen Temperatur zugeführt wird. Auf diese Weise besteht ein Zielkonflikt zwischen einem energieeffizienten Betrieb und der Möglichkeit auch Kunststoffe in dem Verfahren verwenden zu können, die einen niedrigen Schmelzpunkt haben.

[0005] DE 10 2012 014 161 A1 beschreibt ein Verfahren mit zwei vertikalen Prozessräumen, in denen eine, in einem von oben nach unten verlaufenden Wanderbett befindliche, kohlenstoffreiche Substanz im Gegenstrom mit sauerstoffhaltigem Gas vergast wird und in einer zweiten Stufe in einem zweiten vertikalen Prozessraum mittels sauerstoffhaltigem Gas nachvergast wird. Hierbei strömt das vorvergaste, in dem ersten vertikalen Prozessraum entstandene, Synthesegas an der Oberseite des ersten vertikalen Prozessraums aus. Anschließend strömt das Synthesegas an der Oberseite des zweiten vertikalen Prozessraums ein, durchströmt den zweiten vertikalen Prozessraum und wird im unteren Bereich des zweiten vertikalen Prozessraums abgezogen. Auch bei diesem Verfahren besteht im Prozessraum, der im Gegenstrom betrieben wird das Problem, dass die Strömungsgeschwindigkeit des Synthesegases, das prinzipbedingt an einem oberen Ende des Prozessraums entnommen wird, sehr hoch ist, weil die gesamte erzeugte Synthesegasmenge verfahrensbedingt durch die im oberen Schachtbereich befindliche Pyrolysezone geleitet wird. Dadurch entsteht ein sehr hoher Druckverlust, der die Durchführung des Verfahrens erschwert. Ein Nachteil der Nachvergasung mittels sauerstoffhaltigem Gas während des Durchströmens des zweiten Prozessraums besteht darin, dass durch die Nachoxidation die Energieeffizienz des Verfahrens und gleichzeitig die Qualität sowie der Heizwert des Synthesegases negativ beeinflusst werden.

[0006] WO 2005/047435 offenbart ein Verfahren zur Herstellung von brennbaren Treibstoffen aus der Vergasung von organischen Ausgangsstoffen in einer Vergasungsanlage. Für die vorliegende Erfindung hat sich daher die Aufgabe gestellt, ein verbessertes Verfahren zur Herstellung von Synthesegas bereitzustellen, mit dem eine hohe Gasqualität erzielt wird und außerdem sowohl der Energieeinsatz, als auch der technische Aufwand geringgehalten wird.

[0007] Hauptmerkmale der Erfindung sind im kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 angegeben. Ausgestaltungen sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 15. Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Synthesegas aus kohlenstoffreichen Substanzen, wobei ein Schüttgutwanderbett aus einem Schüttgutmaterial besteht, das sich aus den kohlenstoffreichen Substanzen und einem selbst nicht vergasbaren Material zusammensetzt und wobei das Schüttgutwanderbett in einem Vertikalschacht eines Vertikalschachtofens kontinuierlich oder in Intervallen von oben nach unten wandert und von Gas durchströmt wird, wobei das selbst nicht vergasbare Material und Rückstände der kohlenstoffreichen Substanzen an der Unterseite des Vertikalschachts ausgeleitet werden, wobei in dem von dem Gas durchströmten Schüttgutwanderbett zur Erzeugung von Bestandteilen des Synthesegases wenigstens eine Pyrolysezone und eine Reduktionszone ausgebildet werden, in welcher Reaktionsprodukte aus einer ebenfalls in dem Schüttgutwanderbett ausgebildeten Oxidationszone reduziert werden, wobei das Synthesegas in einem mittleren Bereich des Vertikalschachts an einer Entnahmestelle zwischen einer oberen Schüttgutzone und einer unteren Schüttgutzone abgezogen wird und die kohlenstoffreichen Substanzen wenigstens teilweise mit dem Schüttgutwanderbett von der Pyrolysezone in der oberen Schüttgutzone über den mittleren Bereich in die Reduktionszone und in die Oxidationszone in der unteren Schüttgutzone des Schüttgutwanderbetts bewegt werden, wobei ein Anteil des Synthesegases in einer in der oberen Schüttgutzone ausgebildeten Pyrolysezone des Schüttgutwanderbetts erzeugt wird und ein weiterer Anteil des Synthesegases in einer Reduktionszone in der unteren Schüttgutzone erzeugt wird und die obere Schüttgutzone im Gleichstrom

und die untere Schüttgutzone im Gegenstrom durchströmt wird.

[0008] Das Vorsehen der oberen Schüttgutzone und der unteren Schüttgutzone und der Entnahme des Synthesegases in dem mittleren Bereich zwischen der oberen Schüttgutzone und der unteren Schüttgutzone ist vorteilhaft, da auf diese Weise zumindest zwei Prozesszonen ausbildbar sind, in denen die mit dem Schüttgut von der oberen zur unteren Schüttgutzone verlaufenden kohlenstoffreichen Substanzen verarbeitbar sind. Hierbei ergibt sich ein weiterer Vorteil, dass Synthesegase, die in der Pyrolysezone entstehen, direkt zur Entnahmestelle leitbar sind. Gleiches gilt für die in der Reduktionszone gebildeten Synthesegase. In besonders vorteilhafter Weise wird dadurch verhindert, dass die Synthesegase mit den kohlenstoffreichen Substanzen in Kontakt kommen, die noch keine der Prozesszonen durchlaufen haben. Somit ist eine unvollständige Pyrolyse der kohlenstoffreichen Substanzen am Schachteintritt durch heiße Synthesegase wirksam verhindert. In Hinblick auf die Qualität des Synthesegases ist das besonders vorteilhaft, da sich das Synthesegas durch diese Anordnung der Schüttgutzone, der Entnahmestelle in dem mittleren Bereich und der sich dadurch ausbildenden Gasströme im Wesentlichen aus den Produkten der weitgehend vollständigen Pyrolyse und der Reduktion zusammensetzt. Die Oxidation erfolgt außerdem bevorzugt auf einem Energieniveau, das nicht ausreicht, um das selbst nicht vergasbare Material zu schmelzen oder zu zersetzen. Das selbst nicht vergasbare Material hat die Aufgabe als Transportmaterial zu wirken, durch sein Lückenvolumen für eine homogene Gasdurchlässigkeit zu sorgen und Wärme zwischen den Prozesszonen zu transportieren. Je nach Ausgangsmaterial kann vorzugsweise kompaktiertes, insbesondere pelletiertes Material als kohlenstoffreiches Material verwendet werden. Bei solch einem kompaktierten, insbesondere pelletierten Material bildet ein Kunststoff und ein mineralischer Bestandteil ein Eutektikum. Ein derartiges pelletiertes Material wandert aufgrund seiner hohen thermischen Stabilität mit dem selbst nicht vergasbaren Material intakt in die Oxidationszone. Somit wird das Lückenvolumen im Schüttgutwanderbett weitestgehend erhalten. Je nach Wahl der mineralischen Bestandteile werden aus dem kompaktierten, insbesondere pelletierten Material keine oder nur noch sehr geringe Mengen an Schadstoffen freigesetzt, sodass das kompaktierte, insbesondere pelletierte Material weitestgehend unbehandelt bzw. unbearbeitet in dem Prozess verwendet werden kann. Darüber hinaus kann das selbst nicht vergasbare Material durch hohe Scherkräfte in dem Schüttgutwanderbett eine Zerkleinerungsfunktion für die kohlenstoffreichen Substanzen übernehmen. Außerdem ist durch die Wahl eines geeigneten selbst nicht vergasbaren Materials möglich, bestimmte Schadstoffe aus dem Synthesegas zu binden.

[0009] Es ist vorgesehen, dass ein Anteil des Synthesegases in einer in der oberen Schüttgutzone ausgebildeten Pyrolysezone des Schüttgutwanderbetts erzeugt wird und ein weiterer Anteil des Synthesegases in einer Reduktionszone in der unteren Schüttgutzone erzeugt wird.

[0010] Durch das anteilsweise Erzeugen von Synthesegas in einer im oberen Bereich des Schüttgutwanderbetts befindlichen Pyrolysezone und in einer Reduktionszone, welche sich im unteren Bereich des Schüttgutwanderbetts befindet, sind zwei Prozesse in vorteilhafter Weise getrennt voneinander einstellbar, um ein qualitativ hochwertiges Synthesegas herzustellen. Das Synthesegas kann anteilsweise sowohl in Hinsicht auf die Art der Komponenten, als auch in Hinsicht auf die Mengenverhältnisse innerhalb des Synthesegases in dem oberen Bereich und in dem unteren Bereich unterschiedlich sein. In der Reduktionszone wird vorzugsweise in der Pyrolysezone entstehender Koks zu der Reduktion von in der Oxidationszone entstehendem Kohlenstoffdioxid genutzt (Boudouard-Gleichgewicht). Die für diese Reaktion notwendige Wärmeenergie wird von der in dem Vertikalschacht unter der Reduktionszone liegenden Oxidationszone bereitgestellt. Bei der Reduktion entsteht vorteilhafterweise Kohlenstoffmonoxid, welches als Energieträger zu dem Heizwert des Synthesegases, bzw. als chemische Komponente im Falle einer stofflichen Verwertung des Synthesegases beiträgt.

[0011] Weiterhin ist vorgesehen, dass die obere Schüttgutzone im Gleichstrom und die untere Schüttgutzone im Gegenstrom durchströmt wird.

[0012] Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass das Synthesegas im oberen Bereich nicht entgegen der Richtung des Schüttgutwanderbetts strömt. Dadurch werden obere Bereiche des Schüttgutwanderbetts, die eine im Vergleich zu den in der in Richtung des Verlaufs des Schüttgutwanderbetts weiter unten liegenden Pyrolysezone vorherrschenden Temperaturen eine vergleichsweise geringe Temperatur aufweisen, nicht durch die heißen, in der Pyrolysezone entstandenen, Synthesegase durchströmt. Der Gleichstrom im oberen Bereich hat weiterhin den Vorteil, dass die heißen, in der Pyrolysezone erzeugten, Synthesegase nur mit den Produkten der Pyrolyse der kohlenstoffreichen Substanzen in Kontakt kommen und wesentlich höhere Gastemperaturen erreicht werden als dies im Gegenstromprinzip der Fall ist. Somit lässt sich eine unvollständige thermische Spaltung der Pyrolyseprodukte und damit verbundene Bildung von Ölen und Teeren weitestgehend vermeiden. Sofern eine Teilspaltung trotzdem auftritt werden die Pyrolyseprodukte nicht direkt abgezogen, sondern durchlaufen weitere noch heißere Prozessstufen, in denen die thermische Spaltung von Ölen und Teeren sicher gestellt wird.

[0013] Vorzugweise ist vorgesehen, dass das selbst nicht vergasbare Material einen Gewichtsanteil von mindestens 20 % am gesamten Schüttgutmaterial vor der Aufwärmung in der oberen Schüttgutzone aufweist und in der oberen Schüttgutzone von aufgeheiztem Gas auf eine Eigentemperatur von mindestens 350 °C aufgeheizt wird. Dadurch wird ein Energiepuffer bereitgestellt, um die endotherme Pyrolysereaktion zu kompensieren und eine vollständige thermische Spaltung der kohlenstoffreichen Substanzen sicher zu stellen.

[0014] Besonders vorteilhaft gestaltet sich das Verfahren, wenn die kohlenstoffreiche Substanz und das selbst nicht vergasbare Material mittels eines oder mehrerer rotierender Systeme, vorzugsweise durch parallele Befüllung eines Drehkübels und/oder über gemeinsame und/oder parallele Dosierung über eine oder mehrere rotierender Schürren vor und/oder nach Eintritt in den Vertikalschacht miteinander vermischt werden. Eine solche Vermischung kann beispielsweise mit einem Drehkübel, der während seiner Eigenrotation parallel mit den beiden verschiedenen Materialien befüllt wird besonders wirkungsvoll erreicht werden. Dabei ist es insbesondere von Vorteil, dass sich dabei sowohl die unterschiedlichen Bestandteile des Schüttgutmaterials statistisch homogen im Schüttgutmaterial verteilen, als weiterhin auch eine homogene Verteilung von unterschiedlich großen Partikel innerhalb im Schüttgutmaterial erreicht wird. Der Drehkübel wird vorzugsweise mit einem Kübelaufzug nach oben zum Aufgabebereich des Vertikalschachtofens befördert. Der Kübel kann anschließend dem oberen Ende des Vertikalschachts zugeführt werden, wo anschließend der Inhalt des Kübels in den Vertikalschacht aufgegeben wird. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass der Kübelinhalt sich nicht während des Aufgebens entmischt bzw. sortiert oder fraktioniert. Weiterhin ist bei dieser Art der Zuführung von Vorteil, dass die Zusammensetzung des Kübelinhalts je Kübel änderbar ist. Dadurch lässt sich der Prozess über das über die Kübel zugegebene Material steuern.

[0015] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, dass die kohlenstoffreiche Substanz und das selbst nicht vergasbare Material einzeln in abwechselnden Intervallen in den Vertikalschacht eingeleitet werden und sich dadurch eine schichtweise Anordnung der Materialien im Schüttgutwanderbett ergibt, bevor dieses von oben nach unten durch den Vertikalschacht wandert. Bei diesem Vorgehen kann auf die Vermischung der beiden Materialien verzichtet werden. Im Vertikalschacht bildet sich zwar eine schichtweise und damit inhomogene Anordnung aus, jedoch können die Schichthöhen sehr niedrig gehalten werden. Dadurch ergibt sich über die in Relation sehr hohe Ausdehnung des Schüttgutwanderbetts quasi eine für das Verfahren geeignete und ausreichende Homogenität, die eine gute Umsetzung der im Vertikalschacht wichtigen chemischen und thermischen Prozesse erlaubt.

[0016] Bevorzugt ist eine weitere Ausgestaltung des Verfahrens, bei der die Einleitung der kohlenstoffreichen Substanz und des selbst nicht vergasbaren Materials in den Vertikalschacht einzeln und/oder als Mischung über einen bewegten oder statischen Feststoffverteiler erfolgt, über den eine gezielte Verteilung der Materialien in Abhängigkeit ihrer unterschiedlichen Korngrößen im Schüttgutwanderbett ermöglicht wird. Eine solche Verteilungssteuerung ist dann vorteilhaft, wenn eines oder beide der eingeleiteten Materialien unterschiedliche Korngrößen aufweisen. In diesem Fall ist es vorteilhaft, durch die gezielte Einstellung von Schüttwinkeln auf die Verteilung von in dem Schüttgutwanderbett enthaltenen Grob- und Feinguts Einfluss zu nehmen. Dies geschieht durch Ausnutzung von unterschiedlichen Fallparabeln, die sich in Abhängigkeit der Partikelgewichte ergeben. So ist es beispielsweise von Vorteil, feinkörnige Materialien im unmittelbaren Randbereich des Vertikalschachts anzureichern, um einer dort üblicherweise erhöhten Randgängigkeit der Gasphase aufgrund der spezifisch größeren Lückenvolumina im Wandungsbereich entgegenzuwirken.

[0017] Besonders vorteilhaft kann das Verfahren gestaltet werden, wenn ein innerer Durchmesser am unteren Ende der oberen Schüttgutzone kleiner ist, als ein innerer Durchmesser am oberen Ende der unteren Schüttgutzone. Dadurch wird den unterschiedlichen Synthesegasmengen Rechnung getragen. In der oberen Schüttgutzone wird eine geringere Synthesegasmenge durch Pyrolyse gebildet, als durch die Vergasungsreaktionen in der Oxidations- und Reduktionszone in der unteren Schüttgutzone. Durch Anpassung der inneren Durchmesser können die Druckverluste auch bei unterschiedlichen Gaserzeugungsmengen in der oberen und unteren Schüttgutzone niedrig gehalten werden. Dadurch kann überhöhtem Mitriss von Partikeln im mittleren Bereich des Vertikalschachts an der Entnahmestelle entgegengewirkt werden.

[0018] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens besteht darin, dass das der Vertikalschacht im Bereich der oberen Schüttgutzone und/oder im Bereich der unteren Schüttgutzone ganz oder teilweise konisch ausgebildet ist, wobei ein innerer Durchmesser in den konischen Bereichen von oben nach unten zunimmt. Mit einer konischen Ausbildung des Vertikalschachts, die eine von oben nach unten zunehmende Vergrößerung des inneren Durchmessers des Vertikalschachts vorsieht, wird den von oben nach unten bis zur Oxidationszone stetig steigenden Prozesstemperaturen Rechnung getragen, mit der eine Ausdehnung der Feststoffpartikel des Schüttgutmaterials einhergeht. Daraus möglicherweise resultierende Verkantungen oder gar Brückenbildungen, die zu einer inhomogenen und unkontrollierten Wanderung des Schüttgutwanderbetts führen können, wird mit der konischen Ausgestaltung des Vertikalschachts entgegengewirkt.

[0019] Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass in dem mittleren Bereich des Vertikalschachts wenigstens über einen Teil des Umfanges des Schüttgutwanderbettes eine oder mehrere radiale Mischkammer ausgebildet ist, in welcher die Anteile des Synthesegases aus der unteren Schüttgutzone mit den Anteilen des Synthesegases aus der oberen Schüttgutzone vermischt werden.

[0020] Durch das Vorsehen einer oder mehrerer Mischkammern lassen sich die Anteile des Synthesegases, die aus dem unteren Bereich des Schüttgutwanderbetts stammen und verfahrensbedingt eine vergleichsweise hohe Temperatur aufweisen in besonders vorteilhafter Weise mit den Anteilen des Synthesegases, die aus dem oberen Bereich des Schüttgutwanderbetts stammen, und verfahrensbedingt eine vergleichsweise niedrige Temperatur aufweisen, vermischen. So ergibt sich weiterhin ein vorteilhaft homogenes Synthesegas mit einer für die vollständige thermische Spaltung

ausreichend hohen Mischtemperatur.

[0021] Besonders vorteilhaft können die Mischkammern durch eine oder mehrere Abböschungen des Schüttgutwanderbetts erzeugt werden, wobei das Schüttgutwanderbett im mittleren Bereich des Vertikalschachts zur Gewährleistung eines für die Erzeugung der Abböschungen notwendigen Fließbettverhaltens zur Ausbildung eines geeigneten Böschungswinkels mindestens 50 % Gewichtsanteil des selbst nicht vergasbaren Materials enthält.

[0022] Solche Abböschungen erzeugen eine vergrößerte Ausströmfläche, wodurch die Strömungsgeschwindigkeit beim Austritt des Synthesegases vergleichsweise niedrig gehalten wird. Auf diese Weise wird einem Mitriss von Feststoffpartikeln entgegengewirkt. Weiterhin wird durch die Bewegung der Abböschungen mit dem Gesamtfluss des Schüttgutwanderbetts von oben nach unten verhindert, dass sich die Ausströmfläche mit Staubpartikeln zusetzt bzw. asymmetrisch blockiert wird.

[0023] Besonders bevorzugter Weise ist vorgesehen, dass die Temperatur des Synthesegases an der Entnahmestelle zwischen 600 °C und 1300 °C beträgt.

[0024] Die Temperatur des Synthesegases wird so eingestellt, dass eine unvollständige Pyrolyse der kohlenstoffreichen Substanzen vorteilhafterweise wirksam verhindert wird. Sofern die Temperatur oberhalb der unteren Grenze des angegebenen Bereichs gehalten wird, werden kohlenstoffreiche Substanzen weitestgehend vollständig pyrolysiert. Dies wird insbesondere dadurch gewährleistet, dass das vergleichsweise heiße Synthesegas aus der unteren Schüttgutzone durch Vermischung mit dem vergleichsweise kälteren Synthesegas aus der oberen Schüttgutzone eine Mischtemperatur ausbildet, die ausreichend hoch ist, um eine vollständige thermische Spaltung von länger-kettigen Bestandteilen, wie Öle oder Teere, im Synthesegas sicher zu stellen.

[0025] Bevorzugt liegt das Masseverhältnis zwischen den kohlenstoffreichen Substanzen und dem nicht vergasbaren Material, z.B. einem Kalkmaterial, im Bereich von 4:1 bis 1:2. Durch dieses Masseverhältnis ist gewährleistet, dass die Prozesse in den Prozesszonen hinsichtlich des durch das Schüttgutwanderbett erfolgenden Wärmetransports und der für die endothermen Reaktionen benötigte Wärme ideal ablaufen. Der Wärmebedarf bzw. die in den Prozesszonen freiwerdende Wärme und deren Übergang zwischen den verschiedenen Zonen hängt nämlich auch von dem Masseverhältnis zwischen den kohlenstoffreichen Substanzen und dem nicht vergasbaren Material ab.

[0026] Eine besonders zweckmäßige Ausführungsform sieht vor, dass das selbst nicht vergasbare Material des Schüttgutwanderbettes das Kalkmaterial in einem Anteil von 10 % bis 100 % enthält, wobei das Kalkmaterial vorzugsweise aus Branntkalk und/oder Kalkstein besteht.

[0027] Kalkmaterialien und insbesondere Branntkalk haben einen positiven Einfluss auf den Energiebedarf des Prozesses. Branntkalk, also CaO oder Calciumoxid, kann unterhalb von ca. 450 °C hydratisiert werden. Die Hydratisierung ist exotherm, wodurch vorteilhafterweise Energie in Form von Wärme für die endothermen Prozesse in dem Vertikalschachtofen zu Verfügung steht. Insbesondere die gelöschte Form des Branntkalks, also gelöschter Kalk, ist in vorteilhafter Weise einzusetzen, da gelöschter Kalk Halogene, wie Chlor oder Brom und darüber hinaus auch Schwefel in Form von thermisch weitestgehend stabilen Salzen bindet. Dies ist in Hinsicht auf die Qualität des Synthesegases vorteilhaft. Insbesondere, wenn chlor- und/oder brom- und/oder schwefelhaltige kohlenstoffreiche Substanzen in das Schüttgutwanderbett eingebracht werden. Als halogenreiche Substanzen kommen insbesondere Materialien in Frage, die Polyvinylchlorid oder bromhaltige Flammenschutzmittel enthalten, wobei als schwefelreiche Substanzen etwa vulkanisierter Kautschuk oder auch Ölsande bzw. Ölschiefer in Betracht kommen.

[0028] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass am oberen Ende der oberen Schüttgutzone ein Gasraum im Vertikalschacht ausgebildet ist, in dem ein überhitztes Gas durch oxidative Prozesse gebildet, und/oder in den ein überhitztes Gas eingeleitet wird.

[0029] Durch einen solchen Gasraum wird gewährleistet, dass das überhitzte Gas durch den herrschenden Überdruck, der sich unter anderem durch den Druckverlust der oberen Schüttgutzone ergibt, homogen in das Schüttgutwanderbett eintritt. Weiterhin ergibt sich dadurch der Vorteil, dass sich die Pyrolysezone bereits weit oben im Vertikalschacht ausbildet und sich dadurch eine optimale Ausnutzung der oberen Schüttgutzone bei maximaler Verweilzeit der kohlenstoffreichen Substanzen in heißen Reaktionsbereichen ergibt.

[0030] Eine weitere bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass eine Zufeuerung und/oder eine Einleitung von überhitztem Gas im Schüttgutwanderbett, im Bereich der Oxidationszone und/oder im Bereich der Pyrolysezone unter Verwendung von Einstecklanzen erfolgt.

[0031] Die Zufeuerung bzw. Einleitung von überhitztem Gas in den Bereichen der Pyrolysezone und der Oxidationszone ist vorteilhaft, da sich so die Pyrolysetemperatur und die Oxidationstemperatur einstellen lassen. Auf diese Weise ist eine weitestgehend vollständige Pyrolyse und Oxidation der kohlenstoffreichen Substanz zu erreichen. Die Zufeuerung bzw. die Einleitung von überhitztem Gas ist flexibel einstellbar, was vorteilhaft ist, da so die vollständige Pyrolyse und/oder Oxidation nicht nur über die Wandergeschwindigkeit des Schüttgutwanderbetts eingestellt werden kann, sondern auch über die Stoffströme für die Einstecklanzen erfolgen kann. Durch eine einstellbare Zufeuerung über die Einstecklanzen lässt sich vorzugsweise ebenfalls die Lage der Prozesszonen im Ofen justieren.

[0032] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass im Bereich der Pyrolysezone eine Beheizung durch Zugabe von heißem, selbst nicht vergasbarem Material als Bestandteil des Schüttgutmaterials erfolgt, wobei das heiße

selbst nicht vergasbare Material eine Eigentemperatur von mehr als 450 °C aufweist und vorzugsweise aus industriellen Prozessen bereitgestellt wird.

[0033] Durch den Wärmeeintrag mittels heißem, selbst nicht vergasbarem, Material in der Pyrolysezone lässt sich in gleicher Weise der Vorteil erreichen, dass die Temperatur und die Lage der Pyrolysezone hierdurch einstellbar sind. Das selbst nicht vergasbare Material hat hierbei bevorzugt eine Temperatur von über 450 °C, wobei das Masseverhältnis von selbst nicht vergasbarem Material zu der kohlenstoffreichen Substanz etwa 3:1 beträgt. Die Einstellung der Prozesstemperatur erfolgt dabei weitestgehend getrennt von der Einstellung der Prozesstemperatur in der Oxidationszone oder in der Reduktionszone. Somit kann bei einer konstanten Wandergeschwindigkeit des Schüttgutwanderbetts in einer vorteilhaften Weise der Energieeintrag in den einzelnen Prozesszonen gesteuert werden. Vorzugsweise können als heiße, selbst nicht vergasbare, Materialien auch heiße Feststoffströme aus industriellen Prozessen, zum Beispiel Zementklinker, eingesetzt werden. Alternativ kann das heiße nicht vergasbare Material ein Produkt der Roheisenherstellung sein.

[0034] In einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass Wasser und/oder Wasserdampf in dem Schüttgutwanderbett zur Hydratisierung von Kalkmaterial als Bestandteil des Schüttgutmaterials und Ausnutzung der dabei freiwerdenden Prozesswärme zugegeben werden.

[0035] Durch die zusätzlich freiwerdende Wärmeenergie aus der Hydratisierung können endotherme Prozesse in der Pyrolysezone und in der Reduktionszone durch die exotherme Hydratisierungsreaktion mit Energie versorgt werden. Außerdem kann im Prozessraum durch die Einleitung von Wasserdampf die homogene Wassergas-Shift-Reaktion ablaufen, wobei Kohlenstoffmonoxid als Reduktionsmittel für den Wasserdampf zur Bildung von Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff agiert. Weiterhin wird auch die heterogene Wassergasreaktion gefördert, wobei Wasserdampf mit Pyrolysekoks unter Bildung von Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff reagiert.

[0036] Eine weitere Ausführungsform sieht vor, dass kohlenstoffdioxidhaltiges Gas in dem Schüttgutwanderbett zur Carbonisierung von Kalkmaterial als Bestandteil des Schüttgutmaterials und Ausnutzung der dabei freiwerdenden Prozesswärme zugegeben und/oder durch Zugabe von Luft oder von sauerstoffhaltigem Gas durch Oxidation gebildet wird.

[0037] Bei Einsatz von Calciumoxid als Bestandteil des Kalkmaterials besteht in bestimmten Temperaturbereichen die Möglichkeit, durch gezielte Zugabe und/oder oxidative Erzeugung von Kohlenstoffdioxid, die stark exotherme Carbonisierungsreaktion zwischen Kohlenstoffdioxid und Calciumoxid unter Bildung von Calciumcarbonat ablaufen zu lassen, wobei die freiwerdende Wärme bevorzugt in der Reduktionszone und/oder der Pyrolysezone für die dort ablaufenden endothermen Reaktionen besonders vorteilhaft genutzt werden kann. Sofern feines Calciumoxid als Bestandteil des Kalkmaterials verwendet wird, und Kohlenstoffmonoxid bei einer Temperatur von ca. 650 °C zugeleitet wird, dann bildet sich exotherm in einem Temperaturfenster bis ca. 850 °C Calciumcarbonat. Ab einer Temperatur von ca. 850 °C beginnt endotherm die Entsäuerung von Calciumcarbonat (Kalkbrennen) zu CaO. Auf diese Weise lässt sich über das Kalkmaterial des Schüttgutwanderbetts Energie von einer Prozesszone in eine andere Prozesszone leiten.

[0038] Alternativ ist in einer Ausführungsform vorgesehen, dass an einer Unterseite des Vertikalschachts zur Ausbildung einer Nachkühlzone ein Kühlgas eingeleitet wird.

[0039] Das Einleiten von Kühlgas an der Unterseite des Vertikalschachts gestaltet sich vorteilhaft, da das Kühlgas die Restwärme des Schüttgutwanderbetts in der Nachkühlzone zumindest teilweise aufnehmen kann und durch das Aufsteigen des Kühlgases in die oberen Bereiche des Vertikalschachts, in denen teilweise endotherme Reaktionen ablaufen, transportiert.

[0040] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das an der Unterseite des Vertikalschachts eingeleitete Kühlgas das Synthesegas beinhaltet und/oder mindestens ein brennbares Gas beinhaltet oder alternativ Luft beinhaltet. Alternativ ist vorgesehen, dass das an der Unterseite des Vertikalschachts eingeleitete Kühlgas eine Mischung aus reduzierbarem Gas und Luft beinhaltet.

[0041] Dadurch, dass für das Kühlgas Synthesegas vorgesehen ist, findet in vorteilhafter Weise eine Kühlung des Schüttgutwanderbetts statt, ohne dass das Kühlgas die Qualität des entstehenden Synthesegases negativ beeinflusst. Vielmehr können etwaige im verwendeten Synthesegas enthaltene Anteile an Kohlenstoffdioxid in der Reduktionszone zumindest teilweise durch Reaktion mit dem Pyrolysekoks zu Kohlenstoffmonoxid reduziert und damit die Synthesegasqualität insgesamt verbessert werden. Durch das Vorsehen eines brennbaren Gases, welches vorzugsweise Erdgas ist, ergibt sich der Vorteil, dass das brennbare Gas die Wärme des in der Nachkühlzone befindlichen Schüttgutwanderbetts aufnehmen kann, während gleichzeitig durch die gezielte Dosierung des Erdgases eine Erhöhung des Heizwertes des entstehenden Synthesegases erreicht bzw. eingestellt werden kann. Durch das Vorsehen eines reduzierbaren Gases, vorzugsweise Kohlenstoffdioxid und/oder kohlenstoffdioxidhaltige Abgase aus Verbrennungsprozessen und/oder kohlenstoffdioxidhaltigen Gasen aus industriellen Produktionsverfahren, ergibt sich der Vorteil, dass dieses Gas an den in der Oxidationszone ablaufenden Prozessen weitestgehend nicht teilnimmt. Durch die endothermen Reduktionsprozesse in der Reduktionszone kann die durch das reduzierbare Gas aus der Nachkühlzone in die Reduktionszone geleitete Wärme zumindest teilweise während der Reduktion des reduzierbaren Gases genutzt werden. Bei der Verwendung von Kohlenstoffdioxid als reduzierbares Gas wird das Kohlenstoffdioxid nach der Boudouard-Reaktion durch den Pyrolysekoks zu Kohlenstoffmonoxid reduziert. Auf diese Weise ergibt sich der besondere Vorteil, dass das

an der Entnahmestelle anstehende Synthesegas einen höheren Brennwert durch ein dann in dem Synthesegas enthaltenes oxidierbares Gas erhält.

[0042] Das Vorsehen von Luft und/oder eine Mischung aus Luft mit einem reduzierbaren Gas als Kühlgas hat den Vorteil, dass der in der Luft enthaltene Sauerstoff in der Oxidationszone zur Oxidation von oxidierbaren Gasen und/oder sonstigen oxidierbaren Produkten der Pyrolysezone, vorzugsweise Pyrolysekoks, komplett genutzt werden kann. Die Prozesse in der Oxidationszone laufen idealerweise stöchiometrisch bezogen auf den in der Oxidationszone noch vorhandenen Pyrolysekoks ab, sodass das Synthesegas, das an der Entnahmestelle entnommen wird, vorzugsweise keinen Sauerstoff enthält und keine kohlenstoffhaltigen Substanzen mit dem Wanderbett nach unten aus der Oxidationszone gelangen.

[0043] Eine besonders bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass das an der Unterseite des Vertikalschachts eingeleitete Kühlgas aus einem oder mehreren Gasströmen aus industriellen Prozessen, vorzugsweise aus Verbrennungs- und/oder Kalzinierungsprozessen oder Gasen aus der Roheisenproduktion, vorzugsweise Gichtgas und/oder Koksgas und/oder aus Stadtgas besteht.

[0044] Durch Nutzung von geeigneten Gasströmen aus industriellen Prozessen kann das Verfahren besonders effizient mit bestehenden Industrieprozessen kombiniert werden. So kann beispielsweise beim Betrieb des Verfahrens in einem Werk für Roheisenproduktion eine besonders effiziente Verknüpfung vorhandener Gasnetze mit dem vorliegenden Verfahren realisiert werden, wo beispielsweise Gichtgas als Kühlgas Verwendung findet. Dessen vergleichsweise hoher Gehalt an Kohlenstoffdioxid kann in der Reduktionszone mit dem dort vorhandenen Pyrolysekoks zu Kohlenstoffmonoxid reduziert werden. Dadurch wird eine Nutzung und gleichzeitige Veredelung des Gichtgases erreicht, während, verglichen mit der Nutzung von Luft als Kühlgas, weniger Stickstoff in das Verfahren eingebracht wird.

[0045] Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass dem Schüttgutwanderbett reiner Sauerstoff oder ein Gasgemisch mit gegenüber Luft angereichertem Sauerstoffanteil zugegeben wird.

[0046] Die Zugabe von reinem Sauerstoff oder einem Gasgemisch mit gegenüber Luft angereichertem Sauerstoffanteil hat den Vorteil, dass die Gasfracht von nicht an den Reaktionen teilnehmenden in dem Synthesegas enthaltenen Gasen, wie beispielsweise Stickstoff, reduziert wird. Auf diese Weise wird der Heizwert des Synthesegases erhöht. Bevorzugt wird der reine Sauerstoff oder das Gasgemisch mit gegenüber Luft angereichertem Sauerstoffanteil direkt mittels Einstecklanzen im Bereich der Oxidationszone und/oder im Bereich der Pyrolysezone zugegeben, während an der Unterseite des Vertikalschachts vorzugsweise Synthesegas und/oder brennbare Gase und/oder reduzierbare Gase als Kühlgas zugegeben werden.

[0047] Weiterhin ist besonders zweckmäßig, dass als kohlenstoffreiche Substanzen wenigstens teilweise Kunststoffabfälle und/oder organische Abfälle eingesetzt werden.

[0048] Kunststoffabfälle und/oder organische Abfälle fallen in großen Mengen an und haben durch ihren hohen Anteil an Kohlenstoff einen geeigneten Brennwert für die in dem Verfahren ablaufenden Prozesse. Insbesondere unreine Kunststoffabfälle, wie beispielsweise Kompositmaterialien, kunststoffhaltige Abfall-Fractionen, Shredderfractionen aus dem Schrott-Recycling, kunststoffhaltige Produktionsrückstände und dergleichen können vorzugsweise durch das Verfahren zu Synthesegas verarbeitet werden. Dies betrifft auch kohlenwasserstoffreiche Mischmaterialien, wie zum Beispiel Teersande, Ölschiefer oder in sonstiger Weise mit Kohlenwasserstoffen versetzte Medien. Die Herstellung von Synthesegas erfolgt hierbei in einer ersten Stufe durch thermische Spaltung der organischen Bestandteile zu Pyrolysegas unter Bildung von Pyrolysekoks. In der darunterliegenden Reduktionszone reagiert der Pyrolysekoks in einer zweiten Stufe durch die Reduktion von Kohlenstoffdioxid zu Kohlenstoffmonoxid. Weiterhin bildet der Pyrolysekoks mit im Prozess enthaltenem Wasserdampf zusätzliches Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff durch die heterogene Wassergasreaktion. In einer dritten Stufe erfolgt in der Oxidationszone die nahezu vollständige Oxidation der noch vorhandenen Bestandteile an Pyrolysekoks. Die Oxidationszone wird im Allgemeinen in Fest- oder Wanderbettvergasern als Reaktionsfront bezeichnet. Etwaige in dem Synthesegas enthaltene Schadstoffe sind vorzugsweise durch Anlagerungsreaktionen an das Schüttgutwanderbett bindbar. Nicht vergasbare Bestandteile der Kunststoffabfälle und insbesondere der unreinen Kunststoffabfälle, etwa Metalle und seltene Erden, verbleiben im Schüttgutwanderbett und sind durch nachgelagerte Prozesse aufbereitbar oder können dem Recycling zugeführt werden.

[0049] Darüber hinaus ist in einer weiteren Ausführungsform vorgesehen, dass organische Schwersieder, vorzugsweise in flüssiger Form, als kohlenstoffreiche Substanzen verwendet werden. Schwersieder sind insbesondere Destillationsrückstände, Zwischendestillate und Raffinerierückstände. Durch das Verfahren und die verschiedenen Prozesszonen lassen sich auch Schwersieder in dem Verfahren mit dem Vertikalschachtofen bis auf ihre nicht vergasbaren Bestandteile vergasen. Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn die Schwersieder vorzugsweise mittels Einstecklanzen im Bereich der Pyrolysezone und/oder der Reduktionszone und/oder der Oxidationszone direkt in das Schüttgutwanderbett eingebracht und/oder über den Gasraum am oberen Ende der oberen Schüttgutzone in das Schüttgutwanderbett dosiert und/oder direkt dem Schüttgutmaterial vor Eintritt in den Vertikalschacht zugesetzt werden.

[0050] In einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass als kohlenstoffreiche Substanzen wenigstens teilweise phosphorhaltige Klärschlämme eingesetzt werden.

[0051] Durch das Einsetzen von phosphorhaltigen Klärschlämmen lässt sich der hohe Organikanteil der Klärschlämme

in vorteilhafter Weise in Synthesegas umsetzen. Die Residualprodukte der Pyrolyse und der Oxidation enthalten mit Phosphor angereicherte Asche. Diese Asche lässt sich vorteilhaft als Dünger verwenden oder zu Dünger aufbereiten. Besonders vorteilhaft ist hierbei der Einsatz von Kalkmaterialien als Schüttgutwanderbett, da auf diese Weise das aus dem Vertikalschacht ausgeleitete Material, zumindest teilweise als kombinierter Kalk-/Phosphordünger verwendet werden kann.

[0052] Eine weitere bevorzugte Ausführungsvariante des Verfahrens sieht vor, dass als kohlenstoffreiche Substanz wenigstens teilweise aluminiumhaltige Reststoffe und/oder aluminiumhaltige Abfälle eingesetzt werden.

[0053] Der Einsatz von Aluminium als Bestandteil der kohlenstoffreichen Substanz führt dazu, dass Aluminium insbesondere bei Anwesenheit von Wasserdampf in der Pyrolysezone und der Reduktionszone unter starker Wärmeenergiefreisetzung zu Aluminiumhydroxid und Wasserstoff reagiert. Dadurch können die Synthesegasausbeute und der Wasserstoffanteil im Synthesegas deutlich erhöht werden. Weiterhin steht die freiwerdende Wärmeenergie zur Kompensation der endothermen Reaktionen in der Pyrolysezone und in der Reduktionszone zur Verfügung.

[0054] Darüber hinaus wird das Aluminiumhydroxid in der Oxidationszone weitgehend zu Aluminiumoxid oxidiert, das gegebenenfalls aus dem Schüttgutwanderbett zurückgewonnen werden kann. Durch die nahezu vollständige Oxidation des Aluminiums besteht im Falle einer Deponierung der Aschen aus dem Schüttgutwanderbett kein weiteres Wasserstoffbildungspotenzial, wodurch Probleme hinsichtlich der ungewollten Wasserstoffentwicklung im Falle des sogenannten Spülversatzes als mögliche Untertage-Entsorgung vermieden werden.

[0055] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass in den kohlenstoffreichen Substanzen vorhandene Metallanteile, wie sie z.B. bei Elektroschrott in großen Anteilen zu finden sind und/oder andere Wertstoffe, wie beispielsweise Aluminium, Halogene oder Phosphor, chemisch oder physikalisch aus dem ausgeleiteten Schüttgutmaterial rückgewonnen werden. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass die Metallanteile bzw. Wertstoffe, die nicht im Prozess vergast wurden, einer weiteren Verwertung zugeführt werden können. Die angereicherten Residualmaterialien sind beispielsweise in nasschemischen Verfahren aufbereitbar, was insbesondere auf Seltene Erden zutrifft. Alternativ können die angereicherten Residualmaterialien direkt dem Recycling zugeführt werden.

[0056] Weiterhin ist besonders zweckmäßig, dass das Schüttgutwanderbett zumindest teilweise den Vertikalschacht mehrfach im Kreislauf durchläuft. Dadurch ergibt sich einerseits der Vorteil, dass der Bedarf an nicht vergasbarem Material auf ein Minimum begrenzt werden kann und andererseits der Vorteil, dass sich Residualmaterialien anreichern. Solche Residualmaterialien sind beispielsweise Asche, Metalle oder Mineralien. Die angereicherten Residualmaterialien lassen sich anschließend sortieren, gegebenenfalls aufbereiten und dem Recycling zuführen. Alternativ ist in einer Ausführungsform vorgesehen, dass das an der Entnahmestelle aus dem Schüttgutwanderbett abgezogene Synthesegas nachfolgend durch ein Nebenschüttgutwanderbett geleitet wird, das ein Nebenschüttgutmaterial mit einem Anteil von wenigstens 10 % bis zu einem Anteil von 100 % an alkalischen Materialien enthält.

[0057] Weiterhin ist es vorteilhaft, dass an der Entnahmestelle abgezogene Synthesegas durch ein Nebenschüttgutwanderbett zu leiten, da in diesem Nebenschüttgutwanderbett etwaige Aerosole, Teer oder sonstige feste Bestandteile, die von dem Synthesegas mitgeführt werden, zurückgehalten werden. Auf diese Weise wird das Synthesegas gereinigt. Außerdem besteht so die Möglichkeit, das Synthesegas in dem Nebenschüttgutwanderbett separat von den in dem Vertikalschacht ablaufenden Prozessen nachzubehandeln.

[0058] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das Nebenschüttgutwanderbett in einem Nebenschacht des Vertikalschachtofens im Gegenstrom zu dem Synthesegas geführt wird, wobei der Nebenschacht des Vertikalschachtofens von dem Vertikalschacht des Vertikalschachtofens getrennt angeordnet ist.

[0059] Durch das Führen des Nebenschüttgutwanderbettes im Gegenstrom zu dem Gasstrom des Synthesegases und durch die separate Anordnung des Nebenschüttgutwanderbettes in einem Nebenschacht des Vertikalschachtofens ist die Nachbehandlung des Synthesegases von den Prozesszonen des Vertikalschachts vorteilhafterweise entkoppelt. Etwaige durch das Nebenschüttgutwanderbett aus dem Synthesegas entfernte Bestandteile oder mitgeführte Elemente des Synthesegases können vorteilhaft in dem Nebenschüttgutwanderbett gebunden werden und getrennt von dem Schüttgutwanderbett entsorgt oder nachbehandelt werden. Das Führen des Gasstroms im Gegenstrom zum Festbett hat darüber hinaus den Vorteil eines effektiven Wärmetauschs.

[0060] Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass das Synthesegas in einem mittleren Bereich des Nebenschachts zugeleitet wird und in einem oberen Bereich des Nebenschachts oder an einer Oberseite des Nebenschachts abgezogen wird.

[0061] Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass das Nebenschüttgutmaterial über den oberen Bereich des Nebenschachts entgegen der Strömungsrichtung des Synthesegases verläuft. Ein unterer Bereich des Nebenschachts, der sich unterhalb des oberen Bereichs liegt, wird somit nicht durch das Synthesegas durchströmt. Das nach unten wandernde Nebenschüttgutwanderbett kann aber die Wärme des durch das Nebenschüttgutwanderbett strömende Synthesegas aufnehmen. Dies ist vorteilhaft, denn die dem Synthesegas entzogene Wärme steht dann in dem unteren Bereich des Nebenschachts zur Verfügung.

[0062] Eine weitere Ausführungsform der Synthesegasreinigung im Nebenschacht sieht vor, dass das Nebenschüttgutwanderbett in einem Nebenschacht des Vertikalschachtofens im Gleichstrom zu dem Synthesegas geführt wird,

wobei der Nebenschacht des Vertikalschachtofens vorzugsweise von dem Vertikalschacht des Vertikalschachtofens getrennt angeordnet ist. Diese Ausgestaltung des Verfahrens erlaubt eine stark vereinfachte konstruktive Realisierung, weil das Synthesegas einfach am oberen Ende des Nebenschachts, beispielsweise über einen ausgebildeten Hohlraum, eingebracht werden kann. Dadurch ist ein homogenes Einströmen in das Nebenschüttgutmaterial gewährleistet. Dabei

kann die im Falle einer Gegenstromführung konstruktiv aufwändigere Gasführung in einen mittleren Bereich des Nebenschachts entfallen.

[0063] In einer weiteren Ausgestaltung der Gleichstromführung ist vorgesehen, dass das Synthesegas im oberen Bereich des Nebenschachts zugeleitet wird und im unteren Bereich des Nebenschachts abgezogen wird. Dadurch ergibt sich eine Mischtemperatur des Nebenschüttgutmaterials und dem Synthesegas am unteren Ende des Nebenschachts.

[0064] In einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass das Nebenschüttgutmaterial mittels eines Wärmetauschers gekühlt wird. Durch das Vorsehen eines Wärmetauschers, insbesondere in dem unteren Bereich des Nebenschachts, ergibt sich der Vorteil, dass die von dem Synthesegas an das Nebenschüttgutwanderbett abgegebene Wärme in ein Wärmetauschermedium überführt werden kann, welches die Wärme an geeigneten Stellen des Vertikalschachtofens wieder abgibt. Vorzugsweise erfolgt dies in der Pyrolysezone, oder zwischen der Oxidationszone und der Reduktionszone mittels Einstecklanzen. Bevorzugt ist das Wärmetauschermedium ein Medium, das in den in dem Vertikalschacht ablaufenden Prozessen verwendbar ist. Weiterhin bevorzugt ist das Wärmetauschermedium ein brennbares Gas, Wasser, Wasserdampf oder Synthesegas. Für die Vorteile der Einleitung von brennbarem Gas und/oder Synthesegas in den Vertikalschacht wird auf die obenstehenden Ausführungen verwiesen. Die Einleitung von Wasser oder Wasserdampf in den Vertikalschacht ist von Vorteil, da Wasser mit Pyrolysekoks gemäß der Boudouard-Reaktion unter Bildung von Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff reagiert. Weiterhin besteht ein weiterer Vorteil, wenn als Schüttgutmaterial Calciumoxid verwendet wird. Durch die Einleitung von Wasser oder Wasserdampf kann die Hydratisierung des Schüttgutmaterials einsetzen, wodurch Wärmeenergie freigesetzt wird, die für die Prozesse in dem Vertikalschacht zur Verfügung steht. Dies geschieht insbesondere dann, wenn die Eigentemperatur des Schüttgutmaterials an der Einleitstelle von Wasser oder Wasserdampf unterhalb von 450 °C gehalten wird.

[0065] In einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass das Nebenschüttgutmaterial in dem unteren Bereich des Nebenschachts ungekühlt aus dem Nebenschacht ausgeleitet wird. Durch die ungekühlte Ausleitung des Nebenschüttgutmaterials ergibt sich der Vorteil, dass das Nebenschüttgutmaterial, das durch das Synthesegas erwärmt wurde, als Eingangsmaterial für weitere Prozesse zur Verfügung steht. Die Erwärmung des Nebenschüttgutmaterials gestaltet sich hierbei vorteilhaft, sofern für die Anschlussprozesse Wärmeenergie benötigt wird.

[0066] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung sieht vor, dass das Nebenschüttgutmaterial in einem unteren Bereich des Nebenschachts ungekühlt aus dem Nebenschacht entnommen und zumindest teilweise als heißes nichtvergasbares Material im Vertikalschacht eingesetzt und die enthaltene Wärmeenergie in der Pyrolysezone genutzt wird.

[0067] Die Nutzung des Nebenschüttgutmaterials als heißes nichtvergasbares Material im Vertikalschacht ermöglicht eine effiziente Nutzung der im Synthesegas enthaltenen Wärmeenergie für die endothermen Prozesse in der Pyrolyse und Reduktionszone. Die Effizienz wird dabei insbesondere durch den nahezu idealen Wärmetausch des heißen Synthesegases mit dem Nebenschüttgutmaterial im Nebenschacht realisiert. Bei dieser Verfahrensweise kann der Wirkungsgrad des Verfahrens deutlich gesteigert werden, da ein erheblicher Teil des Wärmeinhalts des heißen Synthesegases nicht verlorengeht, sondern in den Vertikalschacht zurückgeführt wird.

[0068] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass das Nebenschüttgutwanderbett unterhalb des mittleren Bereiches des Nebenschachts in dem unteren Bereich des Nebenschachts durch im Gegenstrom eingeleitetes Kühlgas abgekühlt wird und/oder das Nebenschüttgutwanderbett in dem unteren Bereich des Nebenschachts durch einen Wärmetauscher gekühlt wird. Das Kühlgas kann hierbei Synthesegas oder ein brennbares Gas sein. Es ergibt sich somit der Vorteil, dass das Nebenschüttgut abgekühlt aus dem Nebenschacht ausgeleitet wird. Insbesondere bei nachgeschalteten Förder- oder Fraktionierungsvorrichtungen, die für die Förderung bzw. Fraktionierung des Nebenschüttgutmaterials zu dessen Wiederverwendung eingesetzt werden können, ist es von Vorteil, wenn das Nebenschüttgutmaterial soweit gekühlt vorliegt, dass die Anforderungen an die Hitzebeständigkeit der Förder- oder Fraktionierungsanlage geringer sind.

[0069] Weiterhin ist besonders zweckmäßig, dass die mittlere Korngröße des Schüttgutwanderbetts größer als die mittlere Korngröße des Nebenschüttgutwanderbettes ist. Durch das Vorsehen einer geringeren Korngröße für das Nebenschüttgutwanderbett ergibt sich der Vorteil, dass das Nebenschüttgutwanderbett das Synthesegas durch dessen größere wirksame Oberfläche besser filtern kann. Somit werden in vorteilhafter Weise sowohl feste, als auch gasförmige Verunreinigungen des Synthesegases durch das Nebenschüttgutwanderbett gefiltert bzw. aufgenommen, welche von dem Schüttgutwanderbett nicht zurückgehalten werden. Durch das Nachschalten eines feinkörnigeren Nebenschüttgutwanderbettes im Synthesegasstrom nach dem Schüttgutwanderbett kann das Schüttgutwanderbett grobkörniger gestaltet werden, sodass hier in besonders vorteilhafter Weise ein höherer Gasdurchsatz möglich ist. Daher ist vorzugsweise vorgesehen, dass die mittlere Korngröße des Schüttgutmaterials und die mittlere Korngröße des Nebenschüttgutmaterials im Bereich von 5 mm bis 30 cm, vorzugsweise im Bereich von 5 mm bis 15 cm liegen oder die mittlere Korngröße des Schüttgutmaterials über 1 cm liegt und die mittlere Korngröße des Nebenschüttgutmaterials unter 10

cm liegt.

[0070] Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass Wasser und/oder Wasserdampf an einer oder mehreren Positionen dem Schüttgutwanderbett und/oder dem Nebenschüttgutwanderbett zugegeben werden. Wasser und/oder Wasserdampf wird vorzugsweise im oberen Bereich des Nebenschüttgutwanderbettes und/oder im unteren Bereich des Schüttgutwanderbetts als Kühlmedium zugegeben. Der Vorteil der Wasserzugabe oder der Zugabe von Wasserdampf in die Pyrolysezone besteht darin, dass das Schüttgutwanderbett bis zum Erreichen einer Eigentemperatur von ca. 450 °C gezielt hydratisiert werden kann, sofern das Schüttgutwanderbett aus Calciumoxid besteht. Die Hydratisierung ist exotherm und kann daher notwendige Wärmeenergie für die Pyrolyse der kohlenstoffhaltigen Substanzen zur Verfügung stellen. Weiterhin ist die Hydratisierung mittels Wasser oder Wasserdampf vorteilhaft, da das sich zumindest teilweise bildende Calciumhydroxid dazu eignet, Halogene oder Schwefel in Form thermisch weitestgehend stabilen Salzen zu binden. Auf diese Weise wird das Synthesegas von Halogenen und/oder Schwefel gereinigt, welche bei der Pyrolyse oder Oxidation von beispielsweise Polyvinylchloriden oder vulkanisiertem Kautschuk freigesetzt werden. Insbesondere bei Wasserzugabe oder der Zugabe von Wasserdampf in den unteren Bereich des Schüttgutwanderbetts wird durch die Wassergas-Shift-Reaktion im Schüttgutwanderbett durch das Kohlenstoffmonoxid als Reduktionsmittel der Wasserdampf unter Bildung von Kohlenstoffdioxid zu Wasserstoff reduziert. Auf diese Weise entsteht das stabile Kohlenstoffdioxid und der im Synthesegas bei bestimmten Folgeanwendungen erwünschte Wasserstoff. Das Kohlenstoffdioxid kann durch das Boudouard-Gleichgewicht durch den in dem Pyrolysekoks vorhandenen Kohlenstoff bevorzugt zu Kohlenstoffmonoxid reduziert werden. Aus der Reduktion von Kohlenstoffdioxid zu Kohlenstoffmonoxid ergibt sich der Vorteil, dass das Synthesegas ein reaktionsfreudiges Gas enthält und die Fracht an weitestgehend passiven Gasen vermindert wird.

[0071] Das Verfahren kann in einem Vertikalschachtofen aufweisend einen Vertikalschacht mit einem in dem Vertikalschacht kontinuierlich oder in Intervallen verlaufenden Schüttgutwanderbett, aufweisend ein Schüttgutmaterial aus einer kohlenstoffreichen Substanz und einem selbst nicht vergasbaren Material, wobei der Vertikalschacht in einem mittleren Bereich eine Entnahmestelle für das Synthesegas aufweist, durchgeführt werden.

[0072] Dadurch, dass der Vertikalschacht in einem mittleren Bereich eine Entnahmestelle aufweist, sind in dem Vertikalschacht vorteilhafterweise mehrere Prozesszonen ausbildbar, die voneinander durch die Entnahmestelle getrennt sind. Es bilden sich also ein oberer Bereich und ein unterer Bereich aus. Durch die von der Entnahmestelle hergestellten Separierung der Bereiche werden durch den Vertikalschachtofen voneinander getrennte Prozessräume vorgehalten, in denen Prozesse separat voneinander durchführbar sind. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die Anforderungen an die Prozesse hinsichtlich Parameter, wie beispielsweise Temperatur, Druck und/oder Stöchiometrie unterschiedlich sind.

[0073] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform des Vertikalschachtofens sieht vor, dass das Schüttgutmaterial vor und/oder nach Eintritt in den Vertikalschacht durch eine Mischvorrichtung vermischbar ist. Zusätzlich kann in einer Ausgestaltung vorgesehen sein, dass die kohlenstoffreiche Substanz und das selbst nicht vergasbare Material mittels eines oder mehrerer rotierender Systeme, vorzugsweise durch parallele Befüllung eines Drehkübels und/oder über gemeinsame und/oder parallele Dosierung über eine oder mehrere rotierender Schurren vor und/oder nach Eintritt in den Vertikalschacht miteinander vermischbar sind. Durch das Vorsehen einer Mischvorrichtung ist vorteilhaft sichergestellt, dass das Schüttgutmaterial des Schüttgutwanderbetts homogen vorliegt. Alternativ dazu kann vorgesehen sein, dass die kohlenstoffreiche Substanz und das selbst nicht vergasbare Material einzeln in abwechselnden Intervallen in den Vertikalschacht einleitbar sind. Durch die einzelne Einleitung der Bestandteile des Schüttgutwanderbetts ist die Zusammensetzung des Schüttgutwanderbetts kontrolliert einstellbar. Dadurch, dass die Bestandteile einzeln in abwechselnden Intervallen einleitbar sind, ist der Vertikalschachtofen in unterschiedlichen Fahrweisen fahrbar. Bevorzugt ist vorgesehen, dass mittels eines statischen Feststoffverteilers eine gezielte Verteilung der Materialien des Schüttgutwanderbetts in Abhängigkeit ihrer unterschiedlichen Korngrößen erreichbar ist. Durch eine gezielte Verteilung der Materialien in Abhängigkeit von der Korngröße ist eine Einflussnahme auf die Einstellung des Schüttwinkels in dem Schüttgutwanderbett vornehmbar.

[0074] Weiterhin ist für den Vertikalschachtofen besonders zweckmäßig, dass ein unteres Ende einer oberen Schüttgutzone des Vertikalschachts einen kleineren inneren Durchmesser aufweist als ein oberes Ende einer unteren Schüttgutzone des Vertikalschachts. Durch das Vorsehen unterschiedlicher Durchmesser sind Drücke, die in dem Vertikalschachtofen entstehen, vorteilhafterweise kompensier- oder beeinflussbar, sodass die Herstellung eines bestimmten Druckprofils in dem Vertikalschachtofen erreichbar ist.

[0075] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des Vertikalschachtofens sieht vor, dass der Vertikalschacht im Bereich der oberen Schüttgutzone und/oder im Bereich der unteren Schüttgutzone ganz oder teilweise konisch ausgebildet ist. Vorzugsweise nimmt der innere Durchmesser in den konischen Bereichen von oben nach unten zu. Durch eine konische Ausprägung der Bereiche ergibt sich der Vorteil, dass einer Materialausdehnung des Schüttguts Rechnung getragen werden kann, sodass das Schüttgut in dem Vertikalschacht nicht mit der Wandung des Vertikalschachts verkantet.

[0076] Der Vertikalschachtofen kann dadurch weitergebildet werden, dass in dem mittleren Bereich des Vertikalschachts wenigstens über einen Teil des Umfanges des Schüttgutwanderbettes eine oder mehrere radiale Mischkam-

mern ausgebildet sind, vorzugsweise auf der Höhe der Entnahmestelle für das Synthesegas. Ein Vorteil der radialen Mischkammern in dem mittleren Bereich ist, dass eine besonders homogene Durchmischung des durch das Verfahren entstehenden Synthesegases erreichbar ist.

[0077] In einer weiteren Ausgestaltung des Vertikalschachtofens ist vorgesehen, dass das Schüttgutwanderbett im Bereich der Mischkammern eine oder mehrere Abböschungen aufweist. Vorzugsweise weist das Schüttgutwanderbett im mittleren Bereich des Vertikalschachts zur Gewährleistung eines für die Erzeugung der Abböschungen notwendigen Fließbettverhaltens einen geeigneten Böschungswinkel auf. Ein Vorteil hierbei ist, dass sich durch das Vorsehen von Abböschungen die Grenzoberfläche zwischen dem Schüttgutwanderbett und den Mischkammern in dem mittleren Bereich erhöht. Somit ergibt sich der Vorteil, dass Synthesegase, die in dem Verfahren produziert werden, besonders leicht über diese Grenzfläche ableitbar sind.

[0078] Für den Vertikalschachtofen ist in einer alternativen Ausgestaltung vorgesehen, dass der Vertikalschachtofen einen von dem Vertikalschacht getrennt angeordneten Nebenschacht aufweist und zwischen dem Nebenschacht und dem Vertikalschacht eine Strömungsverbindung besteht. Durch das Vorsehen eines Nebenschachts ergibt sich der Vorteil, dass das in dem Verfahren entstehende Synthesegas in dem Nebenschacht reinigbar ist. Zudem sind in dem Nebenschacht weitere Einrichtungen vorsehbar, die eine Nachbehandlung des Synthesegases ermöglichen.

[0079] Außerdem kann für eine Verwendung des mittels eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche hergestellten Synthesegases vorgesehen sein, dieses als Brenngas für die thermische Verwertung und/oder als Brenngas für die Verstromung und/oder als Rohstoff in chemischen Prozessen zu nutzen. Besonders vorteilhaft ist hierbei, dass das Synthesegas vor Ort, also dort, wo das Verfahren abläuft, direkt Verwendung finden kann. Auf diese Weise sind Abgase und/oder etwaige Abwärme dem Verfahren zuführbar, wodurch der Energiebedarf des Verfahrens weiter reduziert werden kann.

[0080] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das Synthesegas vor seiner Verwertung gefiltert und je nach weiterer Anwendung gegebenenfalls abgekühlt wird. Eine Filterung sorgt für ein staubfreies Synthesegas, das in gefilterter Form und gegebenenfalls auch nach Abkühlung auch für anspruchsvolle Verwendungen, beispielsweise in Verbrennungsmotoren, eingesetzt werden kann.

[0081] Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus dem Wortlaut der Ansprüche sowie aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Vertikalschachtofens mit einem Vertikalschacht zur Durchführung des Verfahrens zur Herstellung von Synthesegas;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Vertikalschachtofens mit einem Vertikalschacht und einem Nebenschacht zur Durchführung des Verfahrens zur Herstellung von Synthesegas, wobei im Nebenschacht eine Gegenstromfahrweise realisiert ist und

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Vertikalschachtofens mit einem Vertikalschacht und einem Nebenschacht zur Durchführung des Verfahrens zur Herstellung von Synthesegas, wobei im Nebenschacht eine Gleichstromfahrweise realisiert ist.

[0082] Figur 1 zeigt einen Vertikalschachtofen 1 zur Durchführung des Verfahrens zur Herstellung von Synthesegas 130 aus kohlenstoffreichen Substanzen 112. Der Vertikalschachtofen 1 weist einen Vertikalschacht 100 auf, in dem ein Schüttgutwanderbett 110 von oben nach unten wandert. Das Schüttgutwanderbett 110 besteht aus Schüttgutmaterial 111, welches aus einer Schüttgutquelle 120 gespeist wird. Das Schüttgutmaterial 111 setzt sich aus zwei Materialien zusammen. Das erste Material besteht aus der kohlenstoffreichen Substanz 112, welche zu Synthesegas 130 verarbeitet wird. Das zweite Material ist ein selbst nicht vergasbares Material 113, das nicht zu Synthesegas 130 verarbeitet wird. Zur Sicherstellung einer homogenen Verteilung der kohlenstoffreichen Substanz 112 und dem selbst nicht vergasbaren Material 113 im Schüttgutmaterial 111 wird vorzugsweise ein nicht dargestellter Drehkübel mit den beiden Materialien unter Rotation befüllt, bevor das Schüttgutmaterial als Mischung in den Vertikalschacht eingeleitet wird.

[0083] Das Schüttgutmaterial 111 wird aus dem Drehkübel an einer Oberseite 101 des Vertikalschachts 100 in den Vertikalschacht 100 über einen Gasraum 103 eingeleitet und durchläuft den Vertikalschacht 100 schwerkraftbedingt.

[0084] Die Einleitung kann vorzugsweise über einen bewegten oder statischen Feststoffverteiler 116 erfolgen, über den eine gezielte Verteilung des Schüttgutmaterials in Abhängigkeit der seiner unterschiedlichen Korngrößen im Schüttgutwanderbett 110 erfolgen kann.

[0085] Das Schüttgutmaterial 111 wird an der Unterseite 102 des Vertikalschachts 100 entnommen und einer später zu beschreibenden Nachbehandlung zugeführt.

[0086] Alternativ zur oben beschriebenen Einleitung der kohlenstoffreichen Substanz 112 und dem selbst nicht vergasbaren Material 113 als Mischung, können beide Materialien auch einzeln in abwechselnden Intervallen in den Vertikalschacht eingeleitet werden, wodurch die Materialien quasi schichtweise im Schüttgutwanderbett 110 vorliegen. In

diesem Fall kann die Einleitung ebenfalls vorzugsweise über einen bewegten oder statischen Feststoffverteiler 116 erfolgen, über den eine gezielte Verteilung der Materialien in Abhängigkeit ihrer unterschiedlichen Korngrößen im Schüttgutwanderbett 110 erfolgen kann.

[0087] Als kohlenstoffreiche Substanz 112 können beispielsweise kohlenstoffreiche Abfälle, wie z.B. Biomasse, Kunststoffe, Klärschlamm, ölhaltige Sande oder Ölschiefer verwendet werden. Das selbst nicht vergasbare Material 113 besteht vorzugsweise aus einem mineralischen Material, bevorzugt aus einem kalzitischen Material, besonders bevorzugt aus Calciumoxid.

[0088] Der Strom des Schüttgutmaterials 111 erfolgt von der Oberseite 101 des Vertikalschachtes 100 zu der Unterseite 102 des Vertikalschachtes 100, wobei das Schüttgutmaterial 111 verschiedene Prozesszonen des Vertikalschachts 100 durchläuft.

[0089] Zunächst durchläuft das Schüttgutmaterial 111 eine Pyrolysezone 141. In der Pyrolysezone 141 werden organische Verbindungen thermisch gespalten. Hierbei werden organische Moleküle in Moleküle aufgespalten, die kurzketziger als die Ausgangsmoleküle sind. Die Aufspaltung erfolgt in einem Temperaturbereich zwischen 200 °C und 900 °C

[0090] Nach der Pyrolysezone 141 in Richtung der Unterseite 102 des Vertikalschachts 100 befindet sich eine Oxidationszone 143. In der Oxidationszone 143 wird ein Rückstand der Pyrolyse zu Kohlenstoffdioxid bzw. Kohlenstoffmonoxid oxidiert. Dieser Rückstand der Pyrolyse wird auch als Pyrolysekoks bezeichnet.

[0091] Zwischen der Oxidationszone 143 und der Pyrolysezone 141 befindet sich eine Reduktionszone 142, in der der Kohlenstoffdioxid mit elementarem Kohlenstoff durch das Boudouard-Gleichgewicht in Kohlenstoffmonoxid umgesetzt wird. Diese Reaktion ist endotherm und wird durch die unter der Reduktionszone 142 liegenden Oxidationszone 143, in der die exotherme Oxidation des Pyrolysekoks erfolgt, mit Wärmeenergie versorgt. Eine zusätzliche Versorgung mit Wärmeenergie erfolgt aus der fühlbaren Wärme des aus der Pyrolysezone 141 kommenden Schüttgutwanderbetts.

[0092] Nach der Oxidationszone 143 folgt eine Nachkühlzone 144, in der das Schüttgutwanderbett abgekühlt wird. Das Schüttgutwanderbett 110 wird aus dem Vertikalschacht 100 über eine Ausleitungsvorrichtung 150 ausgeleitet.

[0093] Über die Steuerung des durch die Ausleitungsvorrichtung 150 ausgeleiteten Stoffstroms des Schüttgutwanderbetts 110 lässt sich dessen Verweildauer in dem Vertikalschacht 100 steuern. Auf diese Weise ist der Prozess durch die Verweildauer der kohlenstoffreichen Substanz 112 bzw. deren Rückständen in den unterschiedlichen Prozesszonen 141, 142, 143, 144 einstellbar.

[0094] Das Schüttgutmaterial 111 des Schüttgutwanderbetts 110 wird nach dem Ausleiten an der Unterseite 102 des Vertikalschachts 100 in eine Separationsvorrichtung 10 geleitet, wo das Schüttgutmaterial 111 in drei Korngrößenfraktionen nach Grobkorn 151, Mittelkorn 152 und Feinkorn 153 fraktioniert wird.

[0095] Die Fraktion des Grobkorns 151 kann zu der Schüttgutquelle 120 zurückgeführt werden und ergänzt in der Schüttgutquelle 120 das selbst nicht vergasbare Material 113.

[0096] Die Mittelkornfraktion 152 wird entsorgt oder steht einer weiteren Verwendung zu Verfügung. Die Feinkornfraktion 153, die teilweise auch die in der Pyrolysezone 141 und/oder in der Oxidationszone 143 entstehende Asche enthält, bildet einen Feingut-Abfall 154, der entsorgt oder bei Anreicherung von wertvollen Residualmaterialien verwertet wird.

[0097] Der Vertikalschacht 100 wird zusätzlich zu dem Schüttgutwanderbett 110 mit einem Gasstrom durchströmt. Der Gasstrom verläuft in einer oberen Schüttgutzone 114 des Vertikalschachts 100 im Gleichstrom mit dem Schüttgutwanderbett 110. Das heißt, dass der Gasstrom in Richtung von der Oberseite 101 des Vertikalschachts 100 in Richtung der Unterseite 102 des Vertikalschachts 100 verläuft und hierbei die Pyrolysezone 141 durchströmt.

[0098] In einer unteren Schüttgutzone 115 des Vertikalschachts 100 verläuft der Gasstrom im Gegenstrom zu dem Schüttgutwanderbett 110. Das heißt, dass der Gasstrom in Richtung von der Unterseite 102 des Vertikalschachts 100 zu der Oberseite 101 des Vertikalschachts 100 verläuft.

[0099] Zwischen der oberen Schüttgutzone 114 des Vertikalschachts und der unteren Schüttgutzone 115 des Vertikalschachts liegt ein mittlerer Bereich 104 des Vertikalschachts. In diesem mittleren Bereich 104 treffen sich der mit dem Schüttgutwanderbett 100 verlaufende Gasstrom aus der oberen Schüttgutzone 114 und der gegen das Schüttgutwanderbett 110 verlaufende Gasstrom aus der unteren Schüttgutzone 115. Der Druck innerhalb des Vertikalschachts 100 ist in dem mittleren Bereich 104 am niedrigsten.

[0100] In dem mittleren Bereich 104 des Vertikalschachts 100 werden die aus der in der oberen Schüttgutzone 114 befindlichen Pyrolysezone 141 stammenden Gase, sowie die aus der in der unteren Schüttgutzone 115 befindlichen Reduktionszone 142 stammenden Gase an einer Entnahmestelle 131 des Vertikalschachts 100 abgezogen.

[0101] Das Schüttgutwanderbett 110 bildet in dem mittleren Bereich 104 des Vertikalschachts 100 gemeinsam mit dem Vertikalschacht 100 eine radiale Mischkammer 105 aus, die wenigstens über einen Teil des Umfangs des Schüttgutwanderbettes 110 ausgebildet ist. In dieser radialen Mischkammer 105 werden der aus der unteren Schüttgutzone 115 stammende Gasstrom und der aus der oberen Schüttgutzone 114 stammende Gasstrom vermischt.

[0102] In einem Vorwärmbereich 145 im oberen Bereich der Pyrolysezone 141 und/oder innerhalb der Pyrolysezone 141 werden Luft 50 und/oder Erdgas 60 und/oder ein Wärmetauschermedium 21 durch obere Einsteckklappen 106 eingeleitet. Brennbare Gase werden in dieser oberen Schüttgutzone 114 zumindest partiell verbrannt, um Wärmeenergie

bereitzustellen. Eingeleitete Medien 50, 60, 21, die Wärmeenergie tragen, geben ihre Wärmeenergie in diesem Vorwärmbereich 145 an das Schüttgutmaterial 111 ab. Das Schüttgutmaterial 111 durchläuft jedenfalls zunächst einen Vorwärmbereich 145, in dem das Schüttgutmaterial 111 vorgewärmt wird.

[0103] Alternativ können die Medien 50, 60, 21 auch direkt in den Gasraum 103 eingeleitet werden, wo brennbare Gase zumindest partiell verbrannt werden um Wärmeenergie bereitzustellen. Eingeleitete Medien 50, 60, 21, die Wärmeenergie tragen und oder das Oxidationsgas, strömen aufgrund des herrschenden Überdrucks im Gasraum 103 in das Schüttgutwanderbett 110 ein und geben ihre Wärme an das Schüttmaterial 111 ab.

[0104] Anstatt des Erdgases 60 können auch andere brennbare Gase eingeleitet werden. Ebenfalls ist es möglich, durch die Einstecklanzen 106 und/oder durch den Gasraum überhitzte brennbare Gase oder ein überhitztes reduzierbares Gas, wie z.B. Kohlenstoffdioxid einzuleiten.

[0105] Durch die Verbrennung von Erdgas 60 oder die Einleitung von Wärmeenergie tragenden Medien 50, 60, 21 wird die Temperatur des Schüttgutwanderbetts 110 von einer Temperatur unter 200 °C beim Eintrag in den Vertikalschacht 100 auf eine Temperatur über 200 °C in der Pyrolysezone 141 erhöht.

[0106] Unterhalb der Oxidationszone 143 kann vorgesehen sein, dass Wasserdampf 70 über untere Einstecklanzen 108 eingeleitet wird. In diesem Fall wird der Wasserdampf als Kühlgas eingesetzt, um das Wanderbett bis auf eine Eigentemperatur abzukühlen, die oberhalb 450 °C liegt. Diese Temperatur-Untergrenze wird eingehalten, um eine an dieser Stelle unerwünschte Hydratisierung bei Verwendung von Calciumoxid als selbst nicht vergasbares Material 113 auszuschließen.

[0107] Optional kann Wasserdampf 70 auch in der oberen Schüttgutzone 114 über die oberen Einstecklanzen 106 eingeleitet werden. Hier steht bei Verwendung von Calciumoxid als selbst nicht vergasbares Material 113 die durch die Hydratisierung freiwerdende Energie für die Pyrolyse des kohlenstoffreichen Substanz 112 zur Verfügung.

[0108] Zwischen der Oxidationszone 143 und der Reduktionszone 142 kann Leichtöl 30 und/oder Schweröl 80 in das Schüttgutwanderbett 110 durch mittlere Einstecklanzen 107 eingebracht werden. Durch das Einbringen von Leichtöl 30 und/oder Schweröl 80 lässt sich die Synthesegasmenge und der Heizwert des Synthesegases 130 erhöhen. Weiterhin kann die Temperatur in der Oxidationszone 143 gesteuert werden, sodass eine weitestgehende Oxidation der kohlenstoffreichen Pyrolyserückstände und der kohlenstoffreichen Rückstände aus der Reduktionszone gewährleistet ist, ohne dass eine oxidative Überhitzung stattfindet.

[0109] Durch das Einleiten von Wasser 40 zwischen der Oxidationszone 143 und der Reduktionszone 142 über die mittleren Einstecklanzen 107 wird das Wasser 40 als Kühlmittel eingesetzt, das durch seine Verdampfungsenthalpie und Wärmefähigkeit die Steuerung der Temperatur in der Oxidationszone 143 erlaubt, sodass eine weitestgehende Oxidation der kohlenstoffreichen Pyrolyserückstände und der kohlenstoffreichen Rückstände aus der Reduktionszone 142 gewährleistet ist, ohne dass eine oxidative Überhitzung stattfindet.

[0110] Zur vollständigen Oxidation der kohlenstoffreichen Rückstände aus der Pyrolysezone 141 und der Reduktionszone 142 in der Oxidationszone 143 erfolgt an der Unterseite 102 des Vertikalschachts 100 eine Versorgung mit sauerstoffhaltigem Gas 90. Als sauerstoffhaltiges Gas kann Luft 50 und/oder ein Gasgemisch mit einem Anteil an Sauerstoff verwendet werden.

[0111] Bevorzugt wird die Zufuhr von sauerstoffhaltigem Gas 90 über die Unterseite des Vertikalschachts 100 so eingestellt, dass die Oxidationszone 143 und die Reduktionszone 142 unterstöchiometrisch mit Sauerstoff versorgt sind, sodass in den mittleren Bereich 104 des Vertikalschachts 100 kein Sauerstoff übergeleitet wird. Auf diese Weise besteht das Synthesegas 130, das sich im mittleren Bereich 104 aus dem mit dem Schüttgutwanderbett 110 in der oberen Schüttgutzone 114 gleichlaufenden Gasstrom und dem Gasstrom aus der unteren Schüttgutzone 115 bildet, aus einem Gasgemisch, das keinen Sauerstoff enthält. Durch die Einleitung von Luft 50 oder sauerstoffhaltigem Gas 90 an der Unterseite 102 des Vertikalschachts 100 wird das Schüttgutwanderbett 110 in der unteren Schüttgutzone 115 des Vertikalschachts 100 und insbesondere in der Nachkühlzone 144 abgekühlt.

[0112] Besonders bevorzugt erfolgt die Zufuhr von sauerstoffhaltigem Gas 90 und/oder Luft 50 über die Unterseite des Vertikalschachts über zwei getrennt einstellbare Teilströme. Um eine optimale Gasverteilung in der Nachkühlzone 144 zu erreichen, wird ein Kühlgas-Randstrom 91 über den äußeren Randbereich des Schüttgutwanderbetts 110 in die Nachkühlzone 144 eingeleitet, während ein Kühlgas-Zentralstrom 92 in den Bereich des Zentrums des Schüttgutwanderbetts 110 in die Nachkühlzone 144 eingeleitet wird.

[0113] Dem Verfahren sind als kohlenstoffreiche Substanzen feste oder flüssige Schwersieder 109 über das Schüttgutmaterial zuführbar. Außerdem können flüssige Schwersieder 109 dem Verfahren über die oberen Einstecklanzen 106, die mittleren Einstecklanzen 107 und/oder die unteren Einstecklanzen 108 zugeführt werden.

[0114] Das an der Unterseite 102 des Vertikalschachts 100 zugeführte Kühlgas ist in dem Schüttgutwanderbett in einem Kühlgas-Randstrom 91 an der Außenseite des Schüttgutwanderbetts 110 und in einem Kühlgas-Zentralstrom 92 in einem zentralen Bereich des Schüttgutwanderbetts 110 führbar.

[0115] Figur 2 zeigt den Vertikalschacht 1 mit einem Nebenschacht 210, der ebenfalls in Form eines Vertikalschachts ausgebildet ist und durch den das gebildete Synthesegas im Gegenstrom zum Nebenschüttgutwanderbett 220 geführt wird.

[0116] In dem Nebenschacht 210 verläuft ein Nebenschüttgutwanderbett 220 von oben nach unten kontinuierlich. Das Nebenschüttgutwanderbett 220 wird durch eine Nebenschüttgutquelle 230 mit Nebenschüttgutmaterial 221 gespeist und verläuft von einer Oberseite 211 des Nebenschachts 210 zu einer Unterseite 212 des Nebenschachts 210.

[0117] Das Nebenschüttgutwanderbett 220 besteht aus einem Nebenschüttgutmaterial 221, vorzugsweise einem mineralischen Material, bevorzugt aus Calciumoxid und/oder Calciumcarbonat.

[0118] Vorzugsweise ist die mittlere Korngröße des Nebenschüttgutmaterials 221 geringer als die mittlere Korngröße des Schüttgutmaterials 111.

[0119] In das Nebenschüttgutwanderbett 220 wird das aus dem mittleren Bereich 104 des Vertikalschachts 100 an der Entnahmestelle 131 entnommene Synthesegas 130 eingeleitet.

[0120] Hierzu bildet das Nebenschüttgutwanderbett 220 mit dem Nebenschacht 210 eine radiale Kammer 213 aus, die wenigstens über einen Teil des Umfangs des Nebenschüttgutwanderbettes 220 ausgebildet ist. Durch diese radiale Kammer 213 strömt das Synthesegas 130 in das Nebenschüttgutwanderbett 220 ein.

[0121] Das Synthesegas 130 durchströmt das Nebenschüttgutwanderbett 220 hierbei in einem oberen Bereich 214 des Nebenschachts 210 im Gegenstrom. Das Synthesegas 130 wird in dem oberen Bereich 214 des Nebenschachts 210 aus dem Nebenschacht 210 an einer Ableitungsstelle 216 abgeleitet.

[0122] Insbesondere die Verwendung von Calciumoxid als Nebenschüttgutmaterial 221 in dem Nebenschüttgutwanderbett 220 gestaltet sich vorteilhaft, da Anteile des Synthesegases 130, die Halogene und insbesondere Chlor enthalten, durch Calciumhydroxid gebunden werden, was durch die Einleitung von Wasser 40 oder Wasserdampf 70 beispielsweise über Nebeneinsteckklappen 217 im oberen Bereich des Nebenschachts 210 durch Hydratisierung erzeugt werden kann.

[0123] Außerdem kann das Synthesegas 130 durch das Vorsehen von Calciumoxid als Nebenschüttgutmaterial von Schwefelverbindungen gereinigt werden.

[0124] Das Nebenschüttgutwanderbett 220 dient außerdem der Ableitung von Wärme aus dem Synthesegas 130, welches den Vertikalschacht 100 mit dem Schüttgutwanderbett 110 an der Entnahmestelle 131 mit einer Temperatur von über 600 °C verlässt.

[0125] Durch den Gegenstrom, der zwischen dem ablaufenden Nebenschüttgutwanderbett 220 und dem aufsteigenden Synthesegas 130 ausgebildet wird, lässt sich die Wärmeaufnahme durch das Nebenschüttgutwanderbett 220 effizient gestalten.

[0126] Das Nebenschüttgutwanderbett 220 wird aus dem Nebenschacht 210 über eine Nebenausleitungsvorrichtung 240 ausgeleitet. Über die Steuerung der Nebenausleitungsvorrichtung 240 lässt sich die Verweildauer des Nebenschüttgutwanderbettes 220 in dem Nebenschacht 210 steuern.

[0127] Das durch die Nebenausleitungsvorrichtung 240 ausgeleitete Nebenschüttgutmaterial 221 wird der Separationsvorrichtung 10 zugeleitet, wo das Nebenschüttgutmaterial 221, ebenso wie das Schüttgutmaterial 111, nach Grobkorn 151, Mittelkorn 152 und Feinkorn 153 fraktioniert wird.

[0128] Das in der Separationsvorrichtung 10 abgetrennte Mittelkorn 152 kann zumindest teilweise der Nebenschüttgutquelle 230 zugegeben werden und kann zusammen mit dem Nebenschüttgutmaterial 221 das Nebenschüttgutwanderbett 220 bilden. Hierbei bilden sowohl das fraktionierte und aus der Ausleitungsvorrichtung 150 ausgeleitete Schüttgutmaterial 111 des Schüttgutwanderbettes 110 des Vertikalschachts 100, als auch das das fraktionierte Nebenschüttgutmaterial 221 des Nebenschüttgutwanderbettes 220 des Nebenschachts 200 in einer gemeinsamen Fraktion das Mittelkorn 152.

[0129] Im unteren Bereich 215 des Nebenschachts 210 ist ein Wärmetauscher 20 angeordnet. Der Wärmetauscher 20 nimmt die Wärme des Nebenschüttgutwanderbettes 220 auf, die durch das Synthesegas 130 auf das Nebenschüttgutwanderbett 220 abgegeben wurde. Durch den Wärmetauscher 20 strömt ein Wärmetauschermedium 21, das die Wärme hin zu den oberen Einsteckklappen 106 des Vertikalschachts 100 transportiert. Als Wärmetauschermedium 21 kann Erdgas 60, Synthesegas 130, Wasser 40 oder Wasserdampf 70 eingesetzt werden.

[0130] Das Wärmetauschermedium 21 wird durch die oberen Einsteckklappen 106 in das Schüttgutwanderbett 110 eingebracht und gibt die Wärme dort an das Schüttgutwanderbett 110 ab. Auf diese Weise werden das selbst nicht vergasbare Material 113 und die kohlenstoffreichen Substanzen 112 angewärmt oder auf die notwendige Pyrolysetemperatur aufgeheizt.

[0131] Der Wärmeeintrag durch das Wärmetauschermedium 21 trägt zu einer Verringerung des Energiebedarfs in der Pyrolysezone 141 und in der nachfolgenden Reduktionszone 142 und Oxidationszone 143 bei. Weiterhin wird die Qualität des Synthesegases verbessert, da die Dosierung von Luft 50 für die Zufeuerung ganz oder teilweise entfallen kann. Dadurch gelangt weniger Stickstoff in die Pyrolysezone, der den Heizwert des Synthesegases 130 reduziert.

[0132] Das Nebenschüttgutwanderbett 220 wird vorzugsweise durch eine Einleitung von kaltem Synthesegas 130 in an der Unterseite 212 des Nebenschachts 210 gekühlt. Das Synthesegas 130 durchströmt das Nebenschüttgutwanderbett 220 im Gegenstrom und trifft in einem mittleren Bereich 218 des Nebenschachts 210 auf das Synthesegas 130, das an der Entnahmestelle 131 des Vertikalschachts 100 austritt und in die radiale Kammer 213 des Nebenschachts 210 eingeleitet wird.

[0133] Das aus dem Nebenschacht 210 an der Ableitungsstelle 216 abgeleitete Synthesegas 130 wird durch einen nicht dargestellten Synthesegaswärmetauscher geleitet, wobei das Synthesegas 130 in diesem Synthesegaswärmetauscher weiter abgekühlt wird. Die dem Synthesegas 130 entzogene Wärme ist dem Vertikalschacht 100 an den oberen Einstecklanzen 106 über ein geeignetes Wärmemedium, welches beispielsweise Wasserdampf 70, Luft 50, Erdgas 60 oder Synthesegas 130 ist, zuführbar.

[0134] Im weiteren Verlauf durchläuft das Synthesegas 130 eine ebenfalls nicht dargestellte Synthesegasfiltration, wobei in dem Synthesegas 130 enthaltener Feinstaub abgeschieden wird.

[0135] Im Anschluss durchläuft das von dem Feinstaub filtrierte Synthesegas 130 einen zweiten Synthesegaswärmetauscher und wird einem Quench-Kreislauf zugeleitet, worin das Synthesegas 130 in verschiedenen Prozessschritten von Schweröl 80, Leichtöl 30 und Wasser 40 getrennt wird. Das abgeschiedene Schweröl 80 und/oder Leichtöl 30 und/oder Wasser 40 kann über die mittleren Einstecklanzen 107 zwischen der Oxidationszone 143 und der Reduktionszone 142 dem Vertikalschacht 100 zugeführt werden. Das abgeschiedene Wasser 40 kann weiterhin auch über die Einstecklanzen 106 in den Vorwärmbereich 145 dem Vertikalschacht 100 und/oder über die Nebeneinstecklanzen 217 in den Nebenschacht 210 eingeleitet werden.

[0136] Das filtrierte und durch Kondensation von Schweröl 80, Leichtöl 30 und Wasser 40 befreite Synthesegas 130 steht als Treibstoff für Motoren, beispielsweise für die Verstromung zur Verfügung. Weiterhin kann das in dem Prozess gewonnene Synthesegas 130 thermisch, beispielsweise als Ersatz von fossilen Brennstoffen oder stofflich genutzt zu werden.

[0137] Speziell in der Verstromung des Synthesegases 130 entstehen Wärme sowie wasserdampf- und kohlenstoffdioxidhaltige Motorenabgase, die an geeigneten Stellen dem Prozess, vorzugsweise über die Einstecklanzen 106, 108 zugeführt werden können.

[0138] In einem anderen, nicht dargestellten, Ausführungsbeispiel werden dem Schüttgutwanderbett 110 als kohlenstoffreiche Substanzen 112 Klärschlämme, beispielsweise in kompakter Form, zugeführt. Hierbei wird der Prozess analog zu dem ersten Ausführungsbeispiel durchgeführt, vorzugsweise mit der Ausnahme, dass das durch die Nebenausleitungsvorrichtung 240 ausgeleitete Nebenschüttgutmaterial 221 kompaktiert wird und dem Kreislauf des Nebenschüttgutwanderbettes 220 nicht weiter zugeführt wird. Alternativ kann das brikettierte Nebenschüttgutmaterial zu einer Anreicherung der durch die Prozessierung von Klärschlämmen anfallenden Phosphate auch mehrfach in dem Schüttgutwanderbett 100 eingesetzt werden.

[0139] Figur 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Vertikalschachtofen 1 mit einem Nebenschacht 310, der ebenfalls in Form eines Vertikalschachts ausgebildet ist und durch den das gebildete Synthesegas 130 im Gleichstrom zum Nebenschüttgutwanderbett 320 hingeführt und durch dieses hindurchgeleitet wird.

[0140] Der Vertikalschacht 100 entspricht dem Vertikalschacht 100 gemäß den Ausführungen zu den Figuren 1 und 2, worauf an dieser Stelle Bezug genommen wird.

[0141] In dem Nebenschacht 310 verläuft das Nebenschüttgutwanderbett 320 von einer Oberseite 311 des Nebenschachts 310 zu einer Unterseite 312 des Nebenschachts 310 kontinuierlich. Das Nebenschüttgutwanderbett 320 wird durch eine Nebenschüttgutquelle 330 mit Nebenschüttgutmaterial 321 gespeist.

[0142] Das Nebenschüttgutwanderbett 320 weist ein Nebenschüttgutmaterial 321 auf, vorzugsweise ein mineralisches Material, bevorzugt Calciumoxid und/oder Calciumcarbonat.

[0143] In das Nebenschüttgutwanderbett 320 wird das aus dem mittleren Bereich 104 des Vertikalschachts 100 an der Entnahmestelle 131 entnommene Synthesegas 130 über einen Hohlraum 322 an einem oberen Bereich 314 des Nebenschachts 320 eingeleitet.

[0144] Das Synthesegas 130 durchströmt das Nebenschüttgutwanderbett 320 im Gleichstrom und wird in einem unteren Bereich 315 des Nebenschachts 310 aus dem Nebenschacht 310 an einer Ableitungsstelle 316 abgeleitet.

[0145] Insbesondere die Verwendung von Calciumcarbonat als Nebenschüttgutmaterial 321 in dem Nebenschüttgutwanderbett 320 gestaltet sich im Gleichstrom vorteilhaft, da in diesem Fall eine Abkühlung durch Dosierung von Wasser 40 oder Wasserdampf 70 über Sprühdüsen 317 direkt über den Hohlraum 322 erfolgen kann, ohne dass das Nebenschüttgutmaterial 321 hydratisiert wird. Dadurch kann eine effiziente direkte Kühlung im Nebenschüttgutwanderbett 320 realisiert werden.

[0146] Das Nebenschüttgutwanderbett 320 wird aus dem Nebenschacht 310 über eine Nebenausleitungsvorrichtung 340 ausgeleitet. Über die Steuerung der Nebenausleitungsvorrichtung 340 lässt sich die Verweildauer des Nebenschüttgutwanderbettes 320 in dem Nebenschacht 310 steuern.

[0147] Das durch die Nebenausleitungsvorrichtung 340 ausgeleitete Nebenschüttgutmaterial 321 wird der Separationsvorrichtung 10 zugeleitet, wo das Nebenschüttgutmaterial 321, ebenso wie das Schüttgutmaterial 111, nach Grobkorn 151, Mittelkorn 152 und Feinkorn 153 fraktioniert wird. Das in der Separationsvorrichtung 10 abgetrennte Mittelkorn 152 kann zumindest teilweise der Nebenschüttgutquelle 330 zugegeben werden und kann zusammen mit dem Nebenschüttgutmaterial 321 das Nebenschüttgutwanderbett 320 bilden. Hierbei bilden sowohl das fraktionierte und aus der Ausleitungsvorrichtung 150 ausgeleitete Schüttgutmaterial 111 des Schüttgutwanderbettes 110 des Vertikalschachts 100, als auch das das fraktionierte Nebenschüttgutmaterial 321 des Nebenschüttgutwanderbettes 320 des Nebenschachts 310

in einer gemeinsamen Fraktion das Mittelkorn 152.

[0148] Im unteren Bereich 315 des Nebenschachtes 310 ist ein Wärmetauscher 20 angeordnet, der analog der Beschreibung der Figur 2 Anwendung findet. Als Wärmetauschermedium 21 kann Erdgas 60, Synthesegas 130, Wasser 40 oder Wasserdampf 70 eingesetzt werden.

[0149] Das aus dem Nebenschacht 310 im unteren Bereich 315 des Nebenschachts 310 an der Ableitungsstelle 316 abgeleitete Synthesegas 130 kann analog der Beschreibung der Figur 2 weiter aufbereitet und verwendet werden.

[0150] Die Erfindung ist nicht auf eine der vorbeschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern in vielfältiger Weise abwandelbar.

[0151] Sämtliche aus den Ansprüchen, der Beschreibung und der Zeichnung hervorgehenden Merkmale und Vorteile, einschließlich konstruktiver Einzelheiten, räumlicher Anordnungen und Verfahrensschritten, können sowohl für sich als auch in den verschiedensten Kombinationen erfindungswesentlich sein.

Bezugszeichenliste

[0152]

1	Vertikalschachtofen	131	Entnahmestelle
10	Sortiervorrichtung	141	Pyrolysezone
		142	Reduktionszone
20	Wärmetauscher	143	Oxidationszone
	21 Wärmetauschermedium	144	Nachkühlzone
	30 Leichtöl	145	Vorwärmbereich
	40 Wasser	150	Ausleitungsvorrichtung
25	50 Luft	151	Grobkorn
	60 Erdgas	152	Mittelkorn
	70 Wasserdampf	153	Feinkorn
	80 Schweröl	154	Feingut-Abfall
	90 sauerstoffhaltiges Gas	210, 310	Nebenschacht
30	91 Kühlgas-Randstrom	211, 311	Oberseite des Nebenschachts
	92 Kühlgas-Zentralstrom	212, 312	Unterseite des Nebenschachtes
	100 Vertikalschacht	213	radiale Kammer des Nebenschachts
	101 Oberseite des Vertikalschachts		
35	102 Unterseite des Vertikalschachts	214, 314	oberer Bereich des Nebenschachts
	103 Gasraum		
	104 mittlerer Bereich	215, 315	unterer Bereich des Nebenschachts
	105 radiale Mischkammer		
	106 obere Einstecklanzen	216, 316	Ableitungsstelle
40	107 mittlere Einstecklanzen	217	Nebeneinstecklanzen
	108 untere Einstecklanzen	218	mittlerer Bereich des Nebenschachts
	109 Schwertsieder		
	110 Schüttgutwanderbett		
45	111 Schüttgutmaterial	220, 320	Nebenschüttgutwanderbett
	112 kohlenstoffreiche Substanz	221, 321	Nebenschüttgutmaterial
	113 selbst nicht vergasbares Material		
	114 obere Schüttgutzone	230, 330	Nebenschüttgutquelle
	115 untere Schüttgutzone	240, 340	Nebenausleitungsvorrichtung
50	116 Feststoffverteiler	317	Sprühdüsen
	120 Schüttgutquelle	322	Hohlraum
	130 Synthesegas		

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Synthesegas (130) aus kohlenstoffreichen Substanzen (112), wobei ein Schüttgut-

wanderbett (110) aus einem Schüttgutmaterial (111) besteht, das sich aus den kohlenstoffreichen Substanzen (112) und einem selbst nicht vergasbaren Material (113) zusammensetzt und wobei das Schüttgutwanderbett (110) in einem Vertikalschacht (100) eines Vertikalschachtofens (1) kontinuierlich oder in Intervallen von oben nach unten wandert und von Gas durchströmt wird, wobei das selbst nicht vergasbare Material (113) und Rückstände der kohlenstoffreichen Substanzen (112) an der Unterseite (102) des Vertikalschachts (100) ausgeleitet werden, wobei in dem von dem Gas durchströmten Schüttgutwanderbett (110) zur Erzeugung von Bestandteilen des Synthesegases (130) wenigstens eine Pyrolysezone (141) und eine Reduktionszone (142) ausgebildet werden, in welcher Reaktionsprodukte aus einer ebenfalls in dem Schüttgutwanderbett ausgebildeten Oxidationszone (143) reduziert werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Synthesegas (130) in einem mittleren Bereich (104) des Vertikalschachts (100) an einer Entnahmestelle (131) zwischen einer oberen Schüttgutzone (114) und einer unteren Schüttgutzone (115) abgezogen wird und die kohlenstoffreichen Substanzen (112) wenigstens teilweise mit dem Schüttgutwanderbett (110) von der Pyrolysezone (141) in der oberen Schüttgutzone (114) über den mittleren Bereich (104) in die Reduktionszone (142) und in die Oxidationszone (143) in der unteren Schüttgutzone (115) des Schüttgutwanderbetts (110) bewegt werden, wobei ein Anteil des Synthesegases (130) in einer in der oberen Schüttgutzone (114) ausgebildeten Pyrolysezone (141) des Schüttgutwanderbetts (110) erzeugt wird und ein weiterer Anteil des Synthesegases (130) in einer Reduktionszone (142) in der unteren Schüttgutzone (115) erzeugt wird und die obere Schüttgutzone (114) im Gleichstrom und die untere Schüttgutzone (115) im Gegenstrom durchströmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das in die obere Schüttgutzone (114) eingeleitete selbst nicht vergasbare Material (113) vor der Aufwärmung einen Gewichtsanteil am Schüttgutmaterial (111) von mindestens 20 % aufweist und dass das selbst nicht vergasbare Material (113) im Schüttgutmaterial (111) in der oberen Schüttgutzone (114) mittels aufgeheiztem Gas auf eine Eigentemperatur von mehr als 350 °C aufgewärmt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die kohlenstoffreiche Substanz (112) und das selbst nicht vergasbare Material (113) mittels eines oder mehrerer rotierender Systeme, vorzugsweise durch parallele Befüllung eines Drehkübels und/oder über gemeinsame und/oder parallele Dosierung über eine oder mehrere rotierender Schürren vor und/oder nach Eintritt in den Vertikalschacht (100) miteinander vermischt werden und/oder einzeln in abwechselnden Intervallen in den Vertikalschacht eingeleitet werden und sich dadurch eine schichtweise Anordnung der Materialien im Schüttgutwanderbett (110) ergibt, bevor dieses von oben nach unten durch den Vertikalschacht (100) wandert.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem mittleren Bereich (104) des Vertikalschachts (100) wenigstens über einen Teil des Umfangs des Schüttgutwanderbettes eine oder mehrere radiale Mischkammern (105) ausgebildet sind, in welchen die Anteile des Synthesegases (130) aus der unteren Schüttgutzone (115) mit den Anteilen des Synthesegases aus der oberen Schüttgutzone (114) vermischt werden und sich die Temperatur des Synthesegases (130) an der Entnahmestelle (131) zwischen 600 °C und 1300 °C einstellt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das selbst nicht vergasbare Material (113) des Schüttgutwanderbetts (110) ein Kalkmaterial in einem Anteil von 10 % bis 100 % enthält, wobei das Kalkmaterial vorzugsweise Branntkalk und/oder Kalkstein besteht.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** am oberen Ende der oberen Schüttgutzone (114) ein Gasraum (103) im Vertikalschacht (100) ausgebildet ist, in dem ein überhitztes Gas durch oxidative Prozesse gebildet, und/oder in den ein überhitztes Gas eingeleitet wird und/oder eine Einleitung von überhitztem Gas im Schüttgutwanderbett (110), im Bereich der Oxidationszone (143) und/oder im Bereich der Pyrolysezone (141) unter Verwendung von Einsteckklanz (106, 107) erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** kohlenstoffdioxidhaltiges Gas in dem Schüttgutwanderbett (110) zur Carbonisierung von Kalkmaterial als Bestandteil des Schüttgutmaterials (111) und Ausnutzung der dabei freiwerdenden Prozesswärme zugegeben und/oder durch Zugabe von Luft (50) oder von sauerstoffhaltigem Gas (90) durch Oxidation gebildet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** an einer Unterseite (102) des Vertikalschachts (100) zur Ausbildung einer Nachkühlzone (144) ein Kühlgas eingeleitet wird und das eingeleitete Kühlgas das Synthesegas (130) beinhaltet und/oder mindestens ein brennbares Gas (60) beinhaltet oder alternativ Luft (50) und/oder ein reduzierbares Gas beinhaltet.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Schüttgutwanderbett (110) reiner Sauerstoff oder ein Gasgemisch mit gegenüber Luft angereichertem Sauerstoffanteil zugegeben wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als kohlenstoffreiche Substanzen (112) wenigstens teilweise Kunststoffabfälle und/oder organische Abfälle und/oder Schwersieder (109) eingesetzt werden, wobei die Schwersieder vorzugsweise in flüssiger Form vorzugsweise mittels Einstecklanzen (106, 107) im Bereich der Pyrolysezone (141) und/oder Reduktionszone (142) und/oder Oxidationszone (143) direkt in das Schüttgutwanderbett (110) eingebracht, und/oder über den Gasraum (103) am oberen Ende der oberen Schüttgutzone in das Schüttgutwanderbett dosiert, und/oder direkt dem Schüttgutmaterial (111) vor Eintritt in den Vertikalschacht (100) zugesetzt werden.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schüttgutwanderbett (110) zumindest teilweise den Vertikalschacht (100) mehrfach im Kreislauf durchläuft.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das an der Entnahmestelle (131) aus dem Schüttgutwanderbett (110) abgezogene Synthesegas (130) nachfolgend durch ein Nebenschüttgutwanderbett (220) geleitet wird, das ein Nebenschüttgutmaterial (221) mit einem Anteil von wenigstens 10 % bis zu einem Anteil von 100 % an alkalischen Materialien enthält.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Nebenschüttgutwanderbett (320) in einem Nebenschacht (310) des Vertikalschachtofens (1) im Gleichstrom zu dem Synthesegas (130) geführt wird, wobei der Nebenschacht (310) des Vertikalschachtofens (1) von dem Vertikalschacht (100) des Vertikalschachtofens (1) getrennt angeordnet ist und das das Synthesegas (130) im oberen Bereich des Nebenschachts (311) zugeleitet wird und im unteren Bereich (315) des Nebenschachts (310) abgezogen wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mittlere Korngröße des Schüttgutmaterials (111) und die mittlere Korngröße des Nebenschüttgutmaterials (221) im Bereich von 5 mm bis 30 cm, vorzugsweise im Bereich von 5 mm bis 15 cm liegen oder die mittlere Korngröße des Schüttgutmaterials (111) über 1 cm liegt und die mittlere Korngröße des Nebenschüttgutmaterials (221) unter 10 cm liegt.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** Wasser (40) und/oder Wasserdampf (70) an einer oder mehreren Positionen dem Schüttgutwanderbett (110) und/oder dem Nebenschüttgutwanderbett (220) zugegeben werden.

Claims

1. Method for producing synthesis gas (130) from carbon-rich substances (112), wherein a bulk material moving bed (110) consists of a bulk material (111), which is composed of the carbon-rich substances (112) and a material (113) that is not gasifiable itself, and wherein the bulk material moving bed (110) moves down from the top continuously or at intervals in a vertical shaft (100) of a vertical shaft oven (1) and through which gas flows, wherein the material (113) that is not gasifiable itself and residues of the carbon-rich substances (112) are discharged on the underside (102) of the vertical shaft (100), wherein at least a pyrolysis zone (141) and a reduction zone (142), in which reaction products from an oxidation zone (143) formed likewise in the bulk material moving bed are reduced, are formed in the bulk material moving bed (110) through which the gas flows in order to generate components of the synthesis gas (130), **characterised in that** the synthesis gas (130) is withdrawn in a central region (104) of the vertical shaft (100) at a removal point (131) between an upper bulk material zone (114) and a lower bulk material zone (115) and the carbon-rich substances (112) are moved at least in part with the bulk material moving bed (110) from the pyrolysis zone (141) in the upper bulk material zone (114) via the central region (104) into the reduction zone (142) and into the oxidation zone (143) in the lower bulk material zone (115) of the bulk material moving bed (110), wherein a proportion of the synthesis gas (130) is generated in a pyrolysis zone (141) of the bulk material moving bed (110) formed in the upper bulk material zone (114) and a further proportion of the synthesis gas (130) is generated in a reduction zone (142) in the lower bulk material zone (115) and there is a co-current flowing through the upper bulk material zone (114) and a counter-current flowing through the lower bulk material zone (115).
2. Method according to claim 1, **characterised in that** the material (113) that is not gasifiable itself that is fed into the upper bulk material zone (114) constitutes at least 20 % by weight of the bulk material (111) before heating and that the material (113) that is not gasifiable itself in the bulk material (111) is heated to an inherent temperature of more

than 350 °C in the upper bulk material zone (114) by means of heated gas.

3. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the carbon-rich substance (112) and the material (113) that is not gasifiable itself are mixed together by means of one or more rotating systems, preferably through parallel filling of a rotary bucket and/or by way of combined and/or parallel dosing via one or more rotating chutes before and/or after entry into the vertical shaft (100) and/or are fed individually at alternating intervals into the vertical shaft and in this way a layered arrangement of the materials in the bulk material moving bed (110) emerges, before said bed moves down from the top through the vertical shaft (100).
4. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** in the central region (104) of the vertical shaft (100) at least over a part of the circumference of the bulk material moving bed one or more radial mixing chambers (105) are formed, in which the proportions of the synthesis gas (130) from the lower bulk material zone (115) are mixed with the proportions of the synthesis gas from the upper bulk material zone (114) and the temperature of the synthesis gas (130) at the removal point (131) settles itself between 600 °C and 1300 °C.
5. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the material (113) in the bulk material moving bed (110) that is not gasifiable itself contains a 10 % to 100 % proportion of lime material, wherein the lime material consists preferably of burnt lime and/or limestone.
6. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** at the upper end of the upper bulk material zone (114) a gas space (103) is formed in the vertical shaft (100), in which a superheated gas is formed through oxidative processes, and/or into which a superheated gas is fed and/or a feeding-in of superheated gas takes place in the bulk material moving bed (110), in the region of the oxidation zone (143) and/or in the region of the pyrolysis zone (141) with the use of inserted lances (106, 107).
7. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** carbon-dioxide-containing gas is added in the bulk material moving bed (110) to carbonise lime material as component of the bulk material (111) and to make use of the process heat then released and/or is formed through oxidation through the addition of air (50) or of oxygen-containing gas (90).
8. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** on an underside (102) of the vertical shaft (100) a cooling gas is fed in, to form an aftercooling zone (144), and the fed-in cooling gas contains the synthesis gas (130) and/or contains at least a combustible gas (60) or alternatively contains air (50) and/or a reducible gas.
9. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** pure oxygen or a gas mixture with an enriched proportion of oxygen in relation to air is added to the bulk material moving bed (110).
10. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** at least in part plastic wastes and/or organic wastes and/or high-boiling components (109) are used as carbon-rich substances (112), wherein the high-boiling components are introduced directly into the bulk material moving bed (110) preferably in liquid form preferably by means of inserted lances (106, 107) in the region of the pyrolysis zone (141) and/or reduction zone (142) and/or oxidation zone (143), and/or dosed into the bulk material moving bed via the gas space (103) at the upper end of the upper bulk material zone, and/or are added directly to the bulk material (111) before entry into the vertical shaft (100).
11. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the bulk material moving bed (110) passes at least in part through the vertical shaft (100) multiple times in a cycle.
12. Method according to any of the preceding claims, **characterised in that** the synthesis gas (130) withdrawn from the bulk material moving bed (110) at the removal point (131) is subsequently fed through a secondary bulk material moving bed (220), which contains a secondary bulk material (221) comprising an at least 10 % proportion up to a 100 % proportion of alkaline materials.
13. Method according to claim 12, **characterised in that** the secondary bulk material moving bed (320) is passed co-currently to the synthesis gas (130) in a secondary shaft (310) of the vertical shaft oven (1), wherein the secondary shaft (310) of the vertical shaft oven (1) is arranged separate from the vertical shaft (100) of the vertical shaft oven (1) and the synthesis gas (130) is fed in in the upper region of the secondary shaft (311) and is withdrawn in the lower region (315) of the secondary shaft (310).

14. Method according to any of claims 12 to 13, **characterised in that** the mean particle size of the bulk material (111) and the mean particle size of the secondary bulk material (221) are in the range from 5 mm to 30 cm, preferably in the range from 5 mm to 15 cm or the mean particle size of the bulk material (111) is above 1 cm and the mean particle size of the secondary bulk material (221) is below 10 cm.

15. Method according to any of claims 12 to 14, **characterised in that** water (40) and/or steam (70) are/is added to the bulk material moving bed (110) and/or the secondary bulk material moving bed (220) at one or more positions.

Revendications

1. Procédé de fabrication de gaz de synthèse (130) à partir de substances riches en carbone (112), dans lequel un lit mobile de matière en vrac (110) est constitué d'une matière en vrac (111) qui est composée des substances riches en carbone (112) et d'une matière (113) non auto-gazéifiable, et dans lequel le lit mobile de matière en vrac (110) se déplace en continu ou par intervalles de haut en bas dans un puits vertical (100) d'un four de puits vertical (1) et est traversé par du gaz, dans lequel la matière (113) non auto-gazéifiable et les résidus des substances riches en carbone (112) sont évacués sur le côté inférieur (102) du puits vertical (100), dans lequel au moins une zone de pyrolyse (141) et une zone de réduction (142) pour la génération de composants du gaz de synthèse (130) sont formées dans le lit mobile de matière en vrac (110) traversé par le gaz, dans lequel les produits de réaction provenant d'une zone d'oxydation (143) également formée dans le lit mobile de matière en vrac sont réduits dans la zone de réduction, **caractérisé en ce que** le gaz de synthèse (130) est prélevé dans une zone centrale (104) du puits vertical (100) à un point de prélèvement (131) entre une zone supérieure de matière en vrac (114) et une zone inférieure de matière en vrac (115), et les substances riches en carbone (112) sont au moins partiellement déplacées avec le lit mobile de matière en vrac (110) de la zone de pyrolyse (141) dans la zone supérieure de matière en vrac (114) via la zone centrale (104) dans la zone de réduction (142) et dans la zone d'oxydation (143) dans la zone inférieure de matière en vrac (115) du lit mobile de matière en vrac (110), dans lequel une partie du gaz de synthèse (130) est générée dans une zone de pyrolyse (141) du lit mobile de matière en vrac (110) formée dans la zone supérieure de matière en vrac (114) et une autre partie du gaz de synthèse (130) est générée dans une zone de réduction (142) dans la zone inférieure de matière en vrac (115) et la zone supérieure de matière en vrac (114) est traversée à co-courant et la zone inférieure de matière en vrac (115) à contre-courant.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la matière non auto-gazéifiable (113) introduite dans la zone supérieure de matière en vrac (114) présente une proportion en poids de la matière en vrac (111) d'au moins 20 % avant le chauffage et **en ce que** la matière non auto-gazéifiable (113) dans la matière en vrac (111) est chauffée dans la zone supérieure de matière en vrac (114) au moyen de gaz chauffé à une température propre de plus de 350 °C.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la substance riche en carbone (112) et la matière non auto-gazéifiable (113) sont mélangées l'une à l'autre avant et/ou après l'entrée dans le puits vertical (100) au moyen d'un ou plusieurs systèmes rotatifs, de préférence par remplissage parallèle d'une benne rotative et/ou par dosage commun et/ou parallèle d'une ou de plusieurs goulottes rotatives et/ou sont introduites individuellement à intervalles alternés dans le puits vertical, résultant en un agencement en couches des matières dans le lit mobile de matière en vrac (110) avant que celui-ci se déplace de haut en bas à travers le puits vertical (100).
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** dans la zone centrale (104) du puits vertical (100), au moins sur une partie de la circonférence du lit mobile de matière en vrac, une ou plusieurs chambres de mélange radiales (105) sont formées, dans lesquelles les proportions du gaz de synthèse (130) provenant de la zone inférieure de matière en vrac (115) sont mélangées avec les proportions du gaz de synthèse provenant de la zone supérieure de matière en vrac (114) et la température du gaz de synthèse (130) au point de prélèvement (131) est réglée entre 600 °C et 1 300 °C.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la matière non auto-gazéifiable (113) du lit mobile de matière en vrac (110) contient une matière calcaire dans une proportion de 10 à 100 %, la matière calcaire étant de préférence constituée de chaux vive et/ou de calcaire.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un** espace gazeux (103) est formé à l'extrémité supérieure de la zone supérieure de produit en vrac (114) dans le puits vertical (100), dans

lequel un gaz surchauffé est formé par des processus d'oxydation, et/ou dans lequel un gaz surchauffé est introduit et/ou une introduction de gaz surchauffé se produit dans le lit mobile de matière en vrac (110) au niveau de la zone d'oxydation (143) et/ou au niveau de la zone de pyrolyse (141) en utilisant des lances d'insertion (106, 107).

- 5 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** du gaz contenant du dioxyde de carbone est ajouté dans le lit mobile de matière en vrac (110) pour la carbonisation de la matière calcaire en tant que partie constituante de la matière en vrac (111) et utilisation de la chaleur de processus alors libérée et/ou est formé par addition d'air (50) ou de gaz contenant de l'oxygène (90) par oxydation.
- 10 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un** gaz de refroidissement est introduit sur un côté inférieur (102) du puits vertical (100) pour former une zone de post-refroidissement (144) et le gaz de refroidissement introduit contient le gaz de synthèse (130) et/ou contient au moins un gaz combustible (60) ou bien contient de l'air (50) et/ou un gaz réductible.
- 15 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** de l'oxygène pur ou un mélange gazeux avec une concentration d'oxygène enrichie par rapport à l'air est ajouté au lit mobile de matière en vrac (110).
- 20 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** des déchets plastiques et/ou des déchets organiques et/ou des substances à haut point d'ébullition (109) sont au moins partiellement utilisés comme substances riches en carbone (112), dans lesquelles les substances à haut point d'ébullition sont introduites directement dans le lit mobile de matière en vrac (110) de préférence sous forme liquide, de préférence au moyen de lances d'insertion (106, 107) au niveau de la zone de pyrolyse (141) et/ou de la zone de réduction (142) et/ou de la zone d'oxydation (143), et/ou sont dosées dans le lit mobile de matière en vrac par l'espace gazeux (103) à 25 l'extrémité supérieure de la zone supérieure de matière en vrac et/ou sont ajoutées directement à la matière en vrac (111) avant d'entrer dans le puits vertical (100).
- 30 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le lit mobile de matière en vrac (110) passe au moins partiellement par le puits vertical (100) plusieurs fois dans le circuit.
- 35 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le gaz de synthèse (130) retiré du lit mobile de matière en vrac (110) au point de prélèvement (131) est ensuite dirigé à travers un lit mobile de matière en vrac secondaire (220) qui contient une matière en vrac secondaire (221) avec une proportion d'au moins 10 % jusqu'à une proportion de 100 % de matières alcalines.
- 40 13. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** le lit mobile de matière en vrac secondaire (320) est conduit dans un puits secondaire (310) du four de puits vertical (1) à co-courant vers le gaz de synthèse (130), dans lequel le puits secondaire (310) du four de puits vertical (1) est disposé séparément du puits vertical (100) du four de puits vertical (1) et le gaz de synthèse (130) est introduit dans la partie supérieure du puits secondaire (311) et est prélevé dans la partie inférieure (315) du puits secondaire (310).
- 45 14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 13, **caractérisé en ce que** la granulométrie moyenne de la matière en vrac (111) et la granulométrie moyenne de la matière en vrac secondaire (221) sont dans la plage de 5 mm à 30 cm, de préférence dans la plage de 5 mm à 15 cm, ou la granulométrie moyenne de la matière en vrac (111) est supérieure à 1 cm et la granulométrie moyenne de la matière en vrac secondaire (221) est inférieure à 10 cm.
- 50 15. Procédé selon l'une des revendications 12 à 14, **caractérisé en ce que** de l'eau (40) et/ou de la vapeur (70) sont ajoutées dans une ou plusieurs positions au lit mobile de matière en vrac (110) et/ou au lit mobile de matière en vrac secondaire (220).

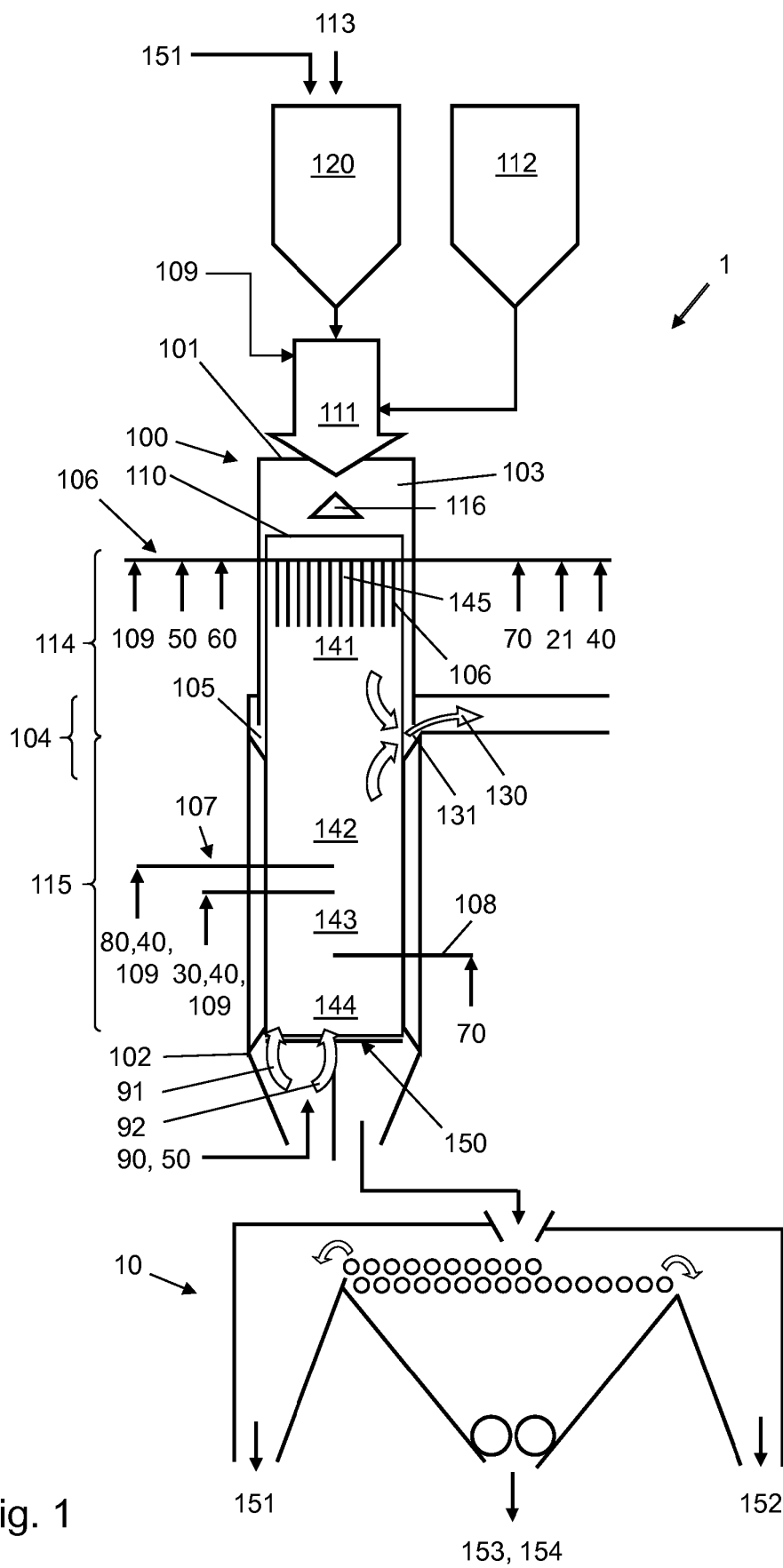


Fig. 1

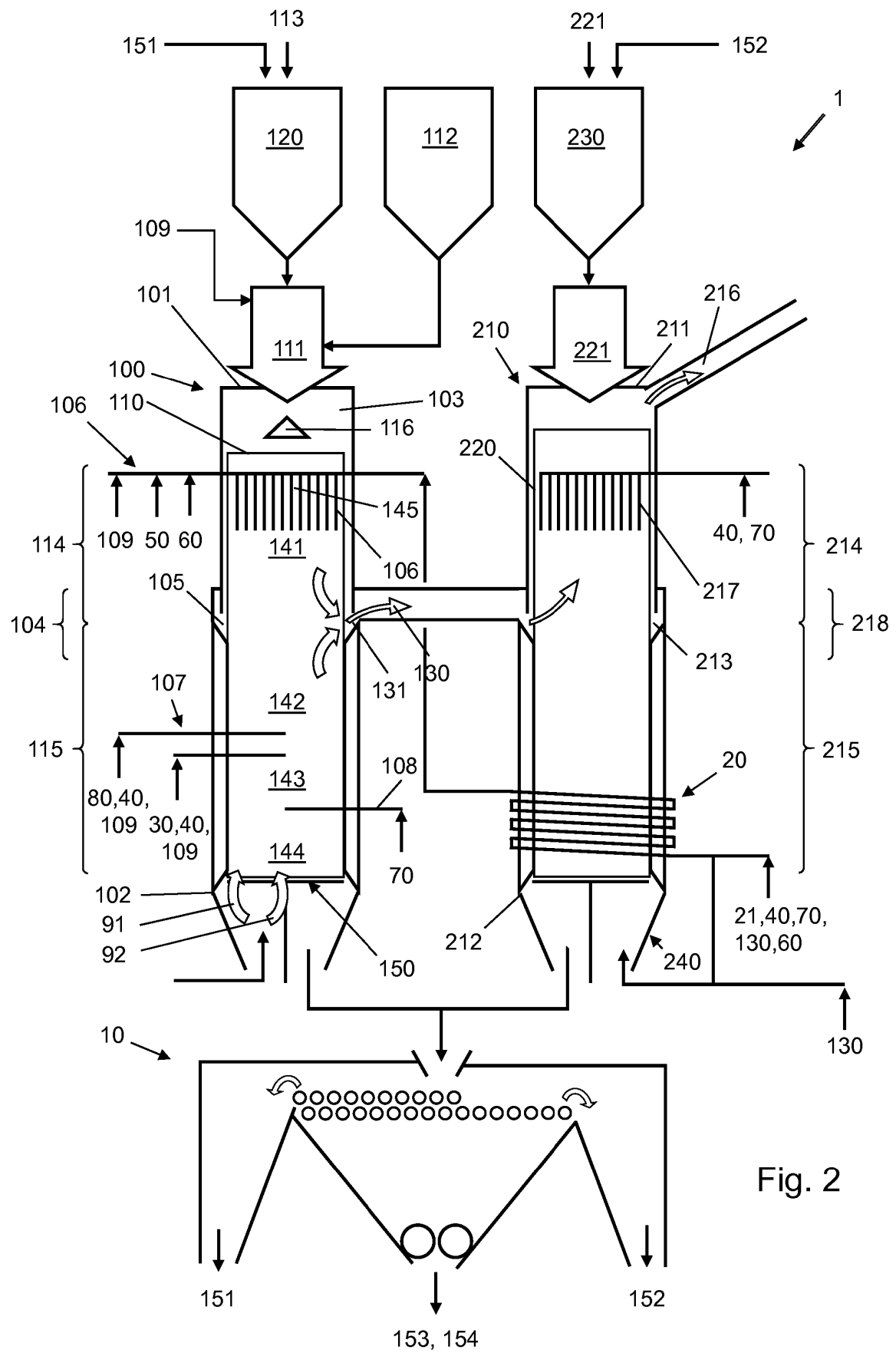
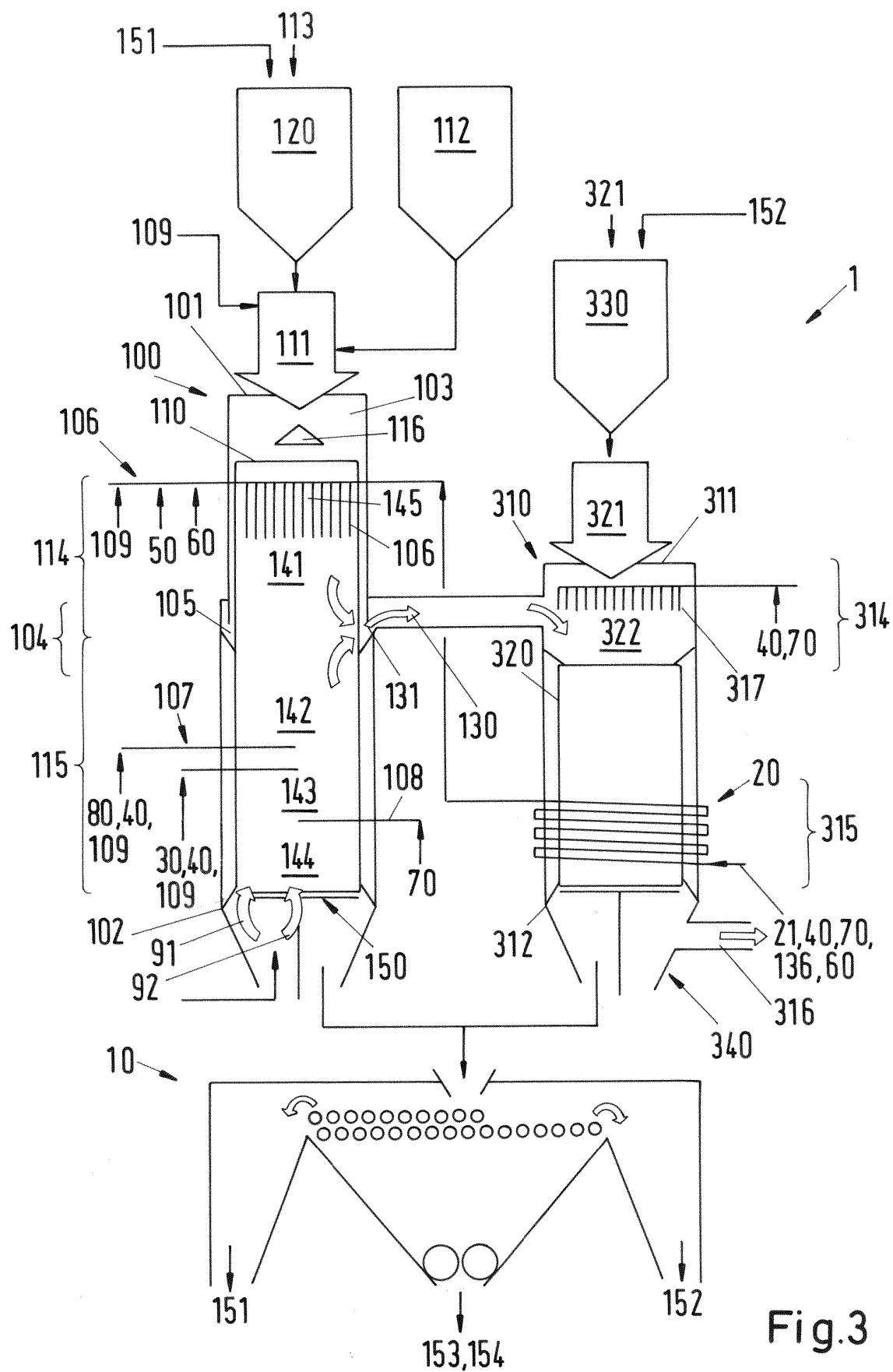


Fig. 2



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102007062414 A1 **[0003]**
- DE 102012014161 A1 **[0005]**
- WO 2005047435 A **[0006]**