

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 217/2022
(22) Anmeldetag: 17.11.2022
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2023

(51) Int. Cl.: **C10J 3/50** (2006.01)
C10J 3/84 (2006.01)
C10K 3/04 (2006.01)

(30) Priorität:
26.07.2022 AT A 60112/2022 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:
EP 3366753 B1
EP 2501787 B1
AT 524123 B1
WO 2020018517 A1

(73) Patentinhaber:
Edlinger Alfred Dipl.-Ing.
6781 Bartholomäberg (AT)

(74) Vertreter:
Haffner und Keschmann Patentanwälte GmbH
1010 Wien (AT)

(54) **Verfahren zur Gewinnung von Methan aus heißem Prozessgas unter Umsetzung von kohlenstoffhaltigen Altstoffen**

(57) Ein Verfahren zur Gewinnung von Methan aus heißem Prozessgas unter Umsetzung von kohlenstoffhaltigen Altstoffen, insbesondere Holzschnitzel, Biomasse, Müllfraktionen, Altkunststoffe, Aurlösungsmittel, Shredder-Leichtfraktion, Altholz und dergleichen, umfasst zumindest die folgenden Schritte:

Pyrolyse und gegebenenfalls Teilvergasung der kohlenstoffhaltigen Altstoffe mit heißem Prozessgas zur Bildung von Synthesegas enthaltend CO und H₂, wobei die kohlenstoffhaltigen Altstoffe in einer Menge zugegeben werden, die zur Bildung von Ruß führt,

katalytische Methanisierung des Synthesegases zur Bildung von Methan.

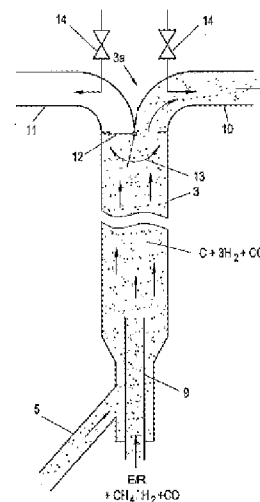


Fig. 2

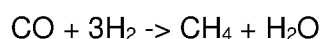
Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gewinnung von Methan aus heißem Prozessgas unter Umsetzung von kohlenstoffhaltigen Altstoffen, insbesondere Holzschnitzel, Biomasse, Müllfraktionen, Altkunststoffe, Altlösungsmittel, Shredder-Leichtfraktion, Altholz und dergleichen, sowie eine Vorrichtung zum Verwerten von Prozessgas unter Umsetzung von Altstoffen und Bildung von Synthesegas, insbesondere zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

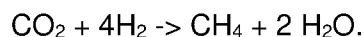
[0002] Mithilfe erneuerbarer Energieträger lassen sich bedeutende Mengen Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser als klimaneutraler Brennstoff gewinnen, wobei sich jedoch die Verwertung des Wasserstoffs und dessen Speicherung problematisch darstellen. Insbesondere kann Wasserstoff aufgrund seiner auf metallische Gasleitungen versprödenden Wirkung nicht in bestehende Gasleitungsnetze eingespeist werden, was jedoch die günstigste Verwertung des Wasserstoffs und einen wesentlichen Beitrag zur Überwindung von Abhängigkeiten von diversen Rohstofflieferanten darstellen würde. Die Methanisierung von Wasserstoff gerät im Zusammenhang mit der Nutzung erneuerbarer Energieträger wie insbesondere Windkraft und der insbesondere der Windkraft inhärenten Problematik der Speicherung der durch Windkraft gewonnen Energie daher zunehmend in den Fokus privater und kommunaler Energieversorger.

[0003] Gleichzeitig stellen chemisch belastete Feststoffe wie Stäube, Trockenschlämme und Schlämme aus der chemischen Industrie, der Metallurgie, der Landwirtschaft, der kommunalen und industriellen Entsorgungswirtschaft etc. und insbesondere Verbrennungsstäube, Schleifstäube, Stahlwerksstäube, Klärschlamm, Tiermehl, Shredder-Leichtfraktion, Altholz, Batterieschrott, Altplastik, Altlösungsmittel und dergleichen, aufgrund des hohen anorganischen und organischen Schadstoffgehalts sowie der großen spezifischen Oberfläche und des hohen chemischen Reaktionspotentials mit der Umwelt ein großes umweltrelevantes Problem dar. Die Aufarbeitung der kleinen Feststoffpartikel ist Gegenstand verschiedenster Technologien. Die Anmelderin der vorliegenden Erfindung hat hierzu kürzlich in der österreichischen Patentanmeldung A 0010/2021 eine Vorrichtung sowie ein Verfahren vorgeschlagen, um derartige Altstoffe zu Synthesegas umzusetzen. Synthesegas besteht aus CO und H₂ und würde sich daher grundsätzlich für eine Umsetzung zu Methan eignen.

[0004] Die katalytische Methanisierung von Wasserstoff nach Sabatier ist im Stand der Technik schon seit geraumer Zeit bekannt. Die Methanisierung erfolgt hierbei nach den Reaktionsgleichungen



beziehungsweise



[0005] Es ist aus diesen Reaktionsgleichungen ersichtlich, dass die Methanisierung neben Kohlenmonoxid oder Kohlendioxid einen hohen Anteil an Wasserstoff erfordert. Gleichzeitig erfordern diese zwar exothermen Reaktionen dennoch Temperaturen von 300°C bis 700°C, um die notwendige Aktivierungsenergie bereitzustellen.

[0006] Die Umsetzung von Synthesegas zu Methan und Wasser im Sinne der oben beschriebenen und im Stand der Technik bekannten Methanisierung nach Sabatier scheitert nun daran, dass das Verhältnis von Kohlenstoff zu Wasserstoff im Synthesegas zu groß ist (C:H = 1:2) und die Reaktion daher auch bei optimaler Katalyse aus stöchiometrischen Gründen in einer Weise stattfindet, dass CO₂ in bedeutenden Mengen gebildet wird. Das CO₂ ist jedoch schwer von H₂ abzutrennen, was die Wirtschaftlichkeit der Methanisierung in Frage stellt. Die einfache Zugabe von Wasserstoff zum Synthesegas würde hier zwar Abhilfe schaffen, erscheint aber aufgrund des hohen Wasserstoffeinsatzes nicht sinnvoll.

[0007] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren anzugeben, mit dem die Methanisierung von Synthesegas aus der Pyrolyse der genannten Altstoffe durch heißes Pro-

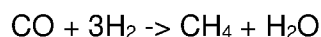
zessgas ohne die Zugabe prozessfremden Wasserstoffs gelingt und bei dem insgesamt ein optimaler Einsatz der Ausgangsstoffe erreicht wird.

[0008] Zur Lösung dieser Aufgabe umfasst ein Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß zumindest die folgenden Schritte:

Pyrolyse und gegebenenfalls Teilvergasung der kohlenstoffhaltigen Altstoffe mit heißem Prozessgas zur Bildung von Synthesegas enthaltend CO und H₂, wobei die kohlenstoffhaltigen Altstoffe in einer Menge zugegeben werden, die zur Bildung von Ruß führt, katalytische Methanisierung des Synthesegases zur Bildung von Methan.

[0009] Die Zugabe der Altstoffe in einer Menge, die zur Bildung von Ruß führt bedeutet im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung, dass das Prozessgas im Vergleich zu den Altstoffen nur in einer Menge zugegeben wird, bei der bei der Pyrolyse und Teilvergasung der Altstoffe kein freier Sauerstoff und kein CO₂ mehr im entstehenden Synthesegas vorhanden ist. Mit anderen Worten wird das Prozessgas somit in Bezug auf die Umsetzung zu Synthesegas unterstöchiometrisch zugegeben. Die Bildung von Ruß erfolgt bevorzugt in einem Ausmaß, dass der Kohlenstoff der kohlenstoffhaltigen Altstoffe in einem Ausmaß zwischen zu mindestens 30% und 70%, bevorzugt zwischen 40% und 60% und besonders bevorzugt zwischen 45% und 55% als Ruß anfällt.

[0010] Die im Rahmen der vorliegenden Erfindung anzustrebende Rußbildung wird aufgrund der nicht immer genau bekannten Zusammensetzung der beim erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzten kohlenstoffhaltigen Altstoffe und aufgrund der ebenso wechselnden Zusammensetzung des eingesetzten Prozessgases regelungstechnisch eingestellt. Die Zielgröße ist hierbei das gewünschte Verhältnis von CO zu H₂, um in der Folge die Methanisierung nach der Formel



durchzuführen.

[0011] Dadurch, dass die Zugabe der kohlenstoffhaltigen Altstoffe im Übermaß erfolgt, woraus eine unsaubere Pyrolyse der kohlenstoffhaltigen Altstoffe resultiert, wird Ruß gebildet. Hierdurch fällt Kohlenstoff als Feststoff aus der Gasphase, wird dadurch verhältnismäßig abgereichert, sodass der Wasserstoffanteil im Synthesegas gegenüber dem gasförmigen Kohlenstoffanteil ansteigt. Die Rußbildung kann auf diese Weise das Verhältnis von Kohlenstoff zu Wasserstoff in der Gasphase auf bis zu 1:4 (C:H = 1:4) und sogar darunter verringern, sodass die stöchiometrischen Voraussetzungen für die Sabatier-Reaktion ohne die Zugabe von prozessfremdem Wasserstoff gegeben sind. Gleichzeitig kann die Exergie von Prozessgasen verschiedenster Herkunft zur Verwertung und Entsorgung problematischer Altstoffe genutzt werden. Es ergibt sich insgesamt ein Verfahren, bei dem wertvolle Wärme aus Abgasen genutzt, Altstoffe entsorgt und wertvolles Brenngas in Form von für die Verwendung in Gasleitungsnetzen geeignetem Methan gebildet werden. Dadurch, dass Synthesegas zur Methanisierung herangezogen werden kann, kann auf die zusätzliche elektrolytische Herstellung von Wasserstoff verzichtet werden, was gegenüber der herkömmlichen Synthese von Methan eine enorme Einsparung an elektrischer Energie mit sich bringt. Selbstverständlich kann dem Synthesegas dennoch Wasserstoff aus der Hydrolyse von Wasser unter Aufwendung erneuerbarer Energieträger zugesetzt werden. Darüber hinaus geht die herkömmliche Methanisierung ausgehend von Synthesegas von H₂ und CO₂ und/oder CO aus, wobei CO₂ und/oder CO im Überschuss vorliegt. Folglich muss im Stand der Technik das entstehende Gasgemisch aus CH₄, CO₂ und H₂O aufwendig getrennt werden, um CH₄ in reiner Form zu erhalten. Das erfindungsgemäße Verfahren arbeitet ohne überschüssige gasförmige Kohlenstoffspezies, da der überschüssige Kohlenstoffanteil als Ruß aus der Gasphase ausfällt und abgeschieden wird.

[0012] Durch geeignete Einstellung der Prozessparameter hinsichtlich des C/H-Verhältnisses kann das erfindungsgemäße Verfahren auch zur Herstellung eines Gasgemisches aus CH₄ und H₂ eingesetzt werden. Weiters sind auch Homologe von CH₄ wie beispielsweise Ethan oder Propan sowie Ethylen und Acetylen darstellbar. Für die Darstellung von Ethan oder Propan sowie Ethylen und Acetylen sowie anderen höherkettigen Kohlenwasserstoffen ist es auch denkbar, O₂

zur Einstellung der Prozessparameter einzusetzen. Dies führt zur Bildung von CO auf Kosten des Rußanteils, sodass auch höherkettige Kohlenwasserstoffe wie beispielsweise Ethan, Ethin, Ethan beziehungsweise Vorprodukte zur Methanol Synthese oder auch Vorprodukte zu Fischer - Tropsch Synthese zugänglich werden. Bevorzugt kann die Bildung von Methan auch unter einem erhöhten Druck von bevorzugt 2 bar bis 5 bar erfolgen.

[0013] Die Parameter der Pyrolyse sind erfindungsgemäß so gewählt, dass das heiße Prozessgas bei Temperaturen von 1800°C bis 2400°C, bevorzugt 1900°C bis 2300°C, weiter bevorzugt 2000°C bis 2200°C und insbesondere bevorzugt 2100°C zur Pyrolyse der kohlenstoffhaltigen Altstoffe herangezogen wird und die überstöchiometrische Zugabe der kohlenstoffhaltigen Altstoffe in einem Ausmaß erfolgt, dass das Synthesegas bei der Pyrolyse auf Temperaturen von 450°C bis 800°C anfällt. Auf diese Weise werden bei Temperaturen des heißen Prozessgases von 1800°C bis 2400°C die Altstoffe zuverlässig pyrolysiert und teilvergast sowie umweltschädliche (organische) Kontaminanten eliminiert und bei Zugabe einer Menge an kohlenstoffhaltigen Altstoffen, die zu einer Senkung der Temperatur bei der Bildung des Synthesegases bei der Pyrolyse auf Temperaturen von 450°C bis 800°C führt, der Kohlenstoffanteil der kohlenstoffhaltigen Altstoffe zu einem bedeutenden Teil zu Ruß umgesetzt, sodass ein Synthesegas mit einem Verhältnis von C:H von mindestens 1:4 erhalten wird. Der Fachmann versteht, dass der Kohlenstoff im Synthesegas als CO vorliegt. Für die katalytische Methanisierung wird das durch die Rußbildung mit Wasserstoff angereicherte Synthesegas gegebenenfalls gekühlt.

[0014] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erfolgt die katalytische Methanisierung des Synthesegases in einer Wirbelschicht aus nickelhaltigem Stahlwerksstaub, bevorzugt bei Temperaturen von 300°C bis 500°C, weiter bevorzugt bei einer Temperatur von 400°C. Die Katalyse der Sabatier-Reaktion zur Bildung von Methan aus CO und H₂ erfolgt standardmäßig mit Nickelkatalysatoren, die Verwendung von nickelhaltigen Stahlwerkstäuben, insbesondere aus der Edelstahlproduktion, ist hierbei als besonders vorteilhaft anzusehen, da diese Stäube eine enorme Oberfläche aufweisen, wodurch eine optimale Katalyse erzielt wird.

[0015] Der gebildete Ruß muss zur Erfüllung diverser gesetzlicher Vorgaben aufgefangen werden. Hierbei wird im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung bevorzugt so vorgegangen, dass der bei der Pyrolyse gebildete Ruß in einem Filter, z.B. Tiefbettfilter, mit einer Filtersäule aus Graphit-, Koks-, und/oder Stahlkörpern, insbesondere -kugeln abgetrennt wird.

[0016] Der Filter wird im Verlauf des erfindungsgemäßen Verfahrens zunehmend mit Ruß belastet, sodass zu gegebener Zeit eine Regeneration des Filters erfolgen muss. Hierbei wird gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung der Ruß im Filter durch bevorzugt induktives Erhitzen der Filtersäule unter Zugabe von Wasserdampf zu Wassergas enthaltend CO₂ und H₂ umgesetzt. Hierdurch wird der Filter von dem feststofflichen Ruß befreit und somit für die weitere Abtrennung von Ruß (carbon black) bereit gemacht.

[0017] Eine besonders vorteilhafte Verfahrensführung ergibt sich bei einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dann, wenn nach einer Wassergas-Shift-Reaktion CO₂ durch alkalische Wäsche von H₂ getrennt und abgetrenntes H₂ dem Synthesegas zur Methanisierung hinzugefügt wird. Auf diese Weise wird durch die einfache Zugabe von Wasserdampf zu der erhitzten Filtersäule wertvoller Wasserstoff gebildet, der wiederum zur Erhöhung des relativen Wasserstoffgehalts des Synthesegases für die katalytische Methanisierung herangezogen werden kann.

[0018] Für die Eliminierung feststofflicher Anteile aus dem Strom des bei der Pyrolyse und gegebenenfalls der Teilvergasung gebildeten Synthesegases beziehungsweise aus dem gebildeten Methan ist das erfindungsgemäße Verfahren bevorzugt dahingehend weitergebildet, dass feststoffliche Anteile mittels eines an die Wirbelschicht anschließenden Gaszyklons und/oder Schlauchfilters abgetrennt und bevorzugt der Wirbelschicht rückgeführt werden.

[0019] Beim Einsatz halogenierter Edukte, wie beispielsweise PVC (Polyvinylchlorid), entstehen im Synthesegas die entsprechenden Säureanhydride, die ein umwelttechnisches Problem dar-

stellen. Aus diesem Grund werden gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung den kohlenstoffhaltigen Altstoffen zur Abtrennung von Halogenen Alkalien und/oder Erdalkalien zugegeben. Halogene, wie beispielsweise Bromide, finden sich in den kohlenstoffhaltigen Altstoffen häufig als flammhemmende Zusätze in Kunststoffen und dergleichen und werden durch die Zugabe von Alkalien und/oder Erdalkalien neutralisiert und können als Feststoffe abgeschieden werden. Schwefelverbindungen wie H_2S oder COS werden durch den Zink-Gehalt der für die Katalyse bevorzugt eingesetzten Stahlwerksstäube restlos gebunden.

[0020] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Verwerten von Prozessgas unter Umsetzung von Altstoffen und Bildung von Synthesegas und zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst zumindest:

ein entlang einer axialen Richtung ausgebildetes und vertikal angeordnetes Steigrohr, eine in das Steigrohr mündende Zuleitung für das Prozessgas und ein an das Steigrohr anschließendes Abgasaufbereitungssystem für das Synthesegas sowie eine Aufgabevorrichtung für die Altstoffe mit zumindest einem über eine definierte Länge in das Steigrohr ragenden Förderrohr, wobei das zumindest eine Förderrohr ein sich in das Steigrohr eröffnendes offenes Ende aufweist und die Zuleitung in axialer Richtung unterhalb des offenen Endes in das Steigrohr mündet, sodass das zumindest eine Förderrohr von von der Zuleitung in das Steigrohr eintretendem Prozessgas umströmbar ist, und ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass das Abgasaufbereitungssystem zumindest einen Filter zum Abscheiden von Ruß aus dem Synthesegas aufweist, wobei der zumindest eine Filter mit einer Zuleitung für Wasserdampf in Verbindung steht und beheizbar ist.

[0021] Die erfindungsgemäße Vorrichtung gestattet es auf diese Weise, umzusetzende, beziehungsweise zu verwertende Altstoffe, insbesondere Holzschnitzel, Biomasse, Müllfraktionen, Altreifen, Alt-Lösungsmittel, Speisereste, Altöle, Altkunststoffe, Shredder-Leichtfraktion, Altholz und dergleichen, mit heißem Prozessgas durch Umströmen zu erhitzen, wodurch eine Pyrolyse und je nach Intensität der Erhitzung bereits eine teilweise Zersetzung der Altstoffe zu Synthesegas in dem zumindest einen Förderrohr stattfindet. Die definierte Länge des zumindest einen Förderrohrs beträgt je nach der weiter unten beschriebenen, spezifischen Ausgestaltung zwischen 40 cm und 200 cm. Durch die Pyrolyse bilden sich im Förderrohr aus den Altstoffen Gase, die dazu führen, dass die durch die Aufgabevorrichtung eingebrachten Altstoffe aufgelockert und explosionsartig aus dem Förderrohr hinaus und in das Steigrohr geschleudert werden. Die derart zerkleinerten Altstoffe geraten dadurch feinteilig mit einer Stückgröße von unter 1,5 mm Effektivdurchmesser und mit relativ großer Oberfläche in den Gasstrom des Prozessgases im Steigrohr, der das zumindest eine Förderrohr von unten mit hoher Geschwindigkeit umströmt und im Steigrohr weiter nach oben strömt und die zerkleinerten Altstoffe mitreißt. Hierdurch und durch die großen Wärmemengen, die vom Prozessgas zur Verfügung gestellt werden, werden die Altstoffe pyrolysiert und gegebenenfalls teilvergast. Auf diese Weise werden aus Abgas (Prozessgas) und Altstoffen Wasserstoff und Kohlenmonoxid (Wassergas, auch bekannt als Synthesegas) gebildet, wodurch Altstoffe gewinnbringend entsorgt werden können und gleichzeitig die Abwärme verschiedenster Verbrennungsprozesse genutzt werden kann. Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Zugabe der Altstoffe in einer Menge, die zur Bildung von Ruß führt, sodass es nicht zu einer vollständigen Umsetzung zu Synthesegas kommt. Das Prozessgas wird somit in Bezug auf die Umsetzung zu Synthesegas unterstöchiometrisch zugegeben. Hierdurch bildet sich aus dem im Übermaß zugegebenen Kohlenstoff der Altstoffe Ruß, wodurch es zu einer relativen Anreicherung von Wasserstoff gegenüber Kohlenstoff im Synthesegas kommt. Dies wiederum ermöglicht in einem späteren Schritt die Sabatier- Reaktion zur Bildung von Methan aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff. Wesentlich ist bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung, dass das Abgasaufbereitungssystem zumindest einen Filter zum Abscheiden von Ruß aus dem Synthesegas aufweist, wobei der zumindest eine Filter mit einer Zuleitung für Wasserdampf in Verbindung steht und beheizbar ist. Hierdurch gelingt die Abscheidung von Ruß aus dem Synthesegasstrom. Durch die Möglichkeit der Zugabe von Wasserdampf und durch die Beheizbarkeit des Filters kann der Filter regeneriert werden, indem der Ruß durch eine Wassergas-Shift-Reaktion zu Wassergas enthaltend CO_2 und H_2 umgesetzt wird. Der dabei in einfacher Weise gewonnene Wasserstoff kann, wie bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren er-

wähnt, wiederum zur positiven Beeinflussung des C:H-Verhältnisses im Synthesegas zur Methanisierung von Wasserstoff zum Einsatz gelangen.

[0022] Eine geeignete und vorteilhafte Konfiguration des Filters hinsichtlich der Regeneration des Filters ergibt sich dann, wenn der zumindest eine Filter von einer Filtersäule aus Graphit-, Koks-, Stahlkörpern, insbesondere -kugeln, und/oder Stahlvlies gebildet ist und eine Induktionsvorrichtung die Filtersäule umgebend angeordnet ist, wie dies einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung entspricht. Die genannten Komponenten der Filtersäule können in bekannt effektiver Weise an ein Induktionsfeld ankoppeln und die Filtersäule dadurch relativ gleichmäßig bis in ihr Inneres erhitzt werden, um den Ruß, zusammen mit dem zugegebenen Wasserdampf zu CO und H₂ umzusetzen. In der anschließenden Wassergas-Shift-Reaktion bildet sich CO₂ und H₂ mit einem wiederum erhöhten Wasserstoffgehalt, da hierbei aus CO und H₂O durch Umlagerung CO₂ und H₂ gebildet werden.

[0023] Um den Betrieb der erfindungsgemäßen Vorrichtung beziehungsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens trotz der Notwendigkeit der Regeneration des Filters unterbrechungsfrei aufrecht erhalten zu können, ist die Erfindung gemäß einer bevorzugten Ausführungsform dahingehend weitergebildet, dass zumindest zwei Filter parallel zueinander angeordnet und alternierend mit Synthesegas durchströmbar sind. Dies gestattet es, immer einen Filter im Filterbetrieb zu belassen und den jeweils anderen Filter durch bevorzugt induktives Erhitzen der Filtersäule und unter Zugabe von Wasserdampf von Ruß zu befreien und dabei CO₂ und H₂ freizusetzen. Wie bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben, kann das CO₂ mittels einer alkalischen Wäsche aus dem Strom aus CO₂ und H₂ ausgewaschen werden, um möglichst reinen Wasserstoff zu erhalten, mit dem das C/H-Verhältnis des Synthesegases weiter in Richtung des Wasserstoffs verschoben werden kann, um die Sabatier-Reaktion zur Bildung von Methan zu fördern.

[0024] Während es grundsätzlich möglich erscheint, das Synthesegas und den darin suspendierten Ruß mit einer einzelnen Abgasleitung aus dem Steigrohr abzuleiten und durch beispielsweise ein Dreiwege-Ventil alternierend auf die zumindest zwei Filter aufzugeben, ist es gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgesehen, dass am axial oberen Ende des Steigrohrs zumindest zwei Abgasleitungen ausmünden, die jeweils mit einem Filter verbunden sind und die durch zumindest ein Absperrorgan einzeln absperrbar sind, wobei bevorzugt zwei Abgasleitungen ausmünden, die durch ein gemeinsames Absperrorgan alternierend absperrbar sind. Dies bedeutet, dass aus dem Steigrohr für jeweils einen Filter jeweils eine eigene Abgasleitung vorgesehen ist. Eine solche Abgasleitung ist mit einem dem Durchmesser einer solchen Abgasleitung entsprechenden Absperrorgan absperrbar, wodurch kleinbauende Ventile und damit Verstopfungen der Ventile mit Ruß vermieden werden. Wenn, wie es bevorzugt vorgesehen ist, zwei Abgasleitungen ausmünden, die durch ein gemeinsames Absperrorgan alternierend absperrbar sind, kann das Absperrorgan als Klappe ausgebildet sein, die lediglich zwischen den Ausleitungen der Abgasleitungen hin und her bewegt werden muss, um jeweils eine Abgasleitung abzusperren und den Strom des Synthesegases zur jeweils anderen Abgasleitung umzuleiten.

[0025] Zur weiteren Förderung der Sabatier-Reaktion aus dem mit Wasserstoff angereicherten Synthesegas ist die vorliegende Erfindung bevorzugt dahingehend weitergebildet, dass an den zumindest einen Filter ein Reaktor gasdicht anschließt, in dem das Synthesegas mit nickelhaltigem Stahlwerksstaub eine Wirbelschicht ausbildet, bevorzugt bei Temperaturen von 300°C bis 500°C, weiter bevorzugt bei einer Temperatur von 400°C. Die Katalyse der Sabatier-Reaktion zur Bildung von Methan aus CO und H₂ erfolgt standardmäßig mit Nickelkatalysatoren, die Verwendung von nickelhaltigen Stahlwerksstäuben, insbesondere aus der Edelstahlproduktion, ist hierbei als besonders vorteilhaft anzusehen, da diese Stäube eine enorme Oberfläche aufweisen, wodurch eine optimale Katalyse erzielt wird.

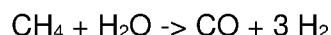
[0026] Um die Wirbelschicht zu vereinheitlichen und um die Reaktanden in möglichst engen räumlichen Kontakt miteinander zu bringen, ist die vorliegende Erfindung gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dahingehend weitergebildet, dass der Reaktor

axial zumindest teilweise von einem Rotor mit mehreren radial gerichteten Stangen durchsetzt ist und das Synthesegas durch die Stangen einbringbar ist.

[0027] Bevorzugt weist der Reaktor zwischen den Stangen des Rotors radial nach innen durch eine Wand des Reaktors ragende Kühlrippen auf, die von einem Kühlmedium durchströmbar sind, bevorzugt Wasser, Thermalöl, ionische Flüssigkeiten und/oder Zinnschmelze, um überschüssige Wärme der exothermen Sabatier- Reaktion aus dem Reaktor ableiten zu können.

[0028] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist der Reaktor einen Abzug für in der Wirbelschicht gebildetes Methan auf, wobei bevorzugt der Abzug zum Abtrennen von Staub in einen Zyklonabscheider mündet.

[0029] In vorteilhafter Weise kann die Erfindung auch dahingehend weitergebildet sein, dass die Vorrichtung eine Mehrzahl von Reaktoren in Serie aufweist, um das Reaktionsgleichgewicht in Richtung der Methan-Ausbeute zu verschieben und die unerwünschte Rückreaktion



hintanzuhalten. Hierbei erfolgt bevorzugt zwischen den in Serie angeordneten Reaktoren eine Kondensation überschüssigen Wasserdampfes.

[0030] Um für eine besonders effiziente Wärmeübertragung in der Aufgabevorrichtung zu sorgen, ist die Aufgabevorrichtung bevorzugt von einer Mehrzahl von radial oder tangential in das Steigrohr ragenden Förderrohren gebildet, wobei die Förderrohre bevorzugt in Bezug auf die axiale Richtung schräg nach oben gerichtet sind. Gemäß dieser bevorzugten Ausführungsform ist somit als Aufgabevorrichtung eine Mehrzahl von Förderrohren vorgesehen, sodass sich bei einem bestimmten Durchsatz an Altstoffen geringere Mengen der Altstoffe in jedem einzelnen Förderrohr der Aufgabevorrichtung befinden. Dies führt zu einer schnelleren und intensiveren Erhitzung und damit zu einer sehr effizienten Pyrolyse und Teilvergasung der Altstoffe und gleichzeitig zu einer effizienteren Kühlung des Gasstroms. Durch die bevorzugte Ausrichtung der Förderrohre schräg nach oben wird eine in Bezug auf die Strömungsrichtung des Prozessgases im Steigrohr vorteilhafte Einbringung der pyrolysierten und teilweise vergasten Altstoffe in das Steigrohr bewirkt, indem das Auftreten von Turbulenzen im Steigrohr gefördert wird, wodurch es zu einem intensiven Wärme- und Stoffaustausch im Steigrohr kommt. Die definierte Länge der Förderrohre beträgt bei dieser bevorzugten Ausführungsform zwischen 40 cm und 120 cm.

[0031] Gemäß einer bevorzugten, alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Aufgabevorrichtung von einem an einem unteren Ende des Steigrohrs in axialer Richtung, insbesondere konzentrisch, in das Steigrohr ragenden Förderrohr gebildet. Diese Ausführungsform ist hinsichtlich der platzsparenden Bauform ohne von der Seite in das Steigrohr mündende Förderrohre und hinsichtlich der strömungsgünstigen Einbringung der pyrolysierten Altstoffe in das Steigrohr als vorteilhaft anzusehen. Darüber hinaus kann bei einem gewissen Durchmesser des Steigrohrs die definierte Länge, über die das Förderrohr in das Steigrohr ragt, länger als bei der vorbeschriebenen radialen oder tangentialen Konfiguration der Förderrohre sein, sodass wiederum eine sehr wirksame Wärmeübertragung auf die Altstoffe im Förderrohr erfolgt. Die definierte Länge der Förderrohre beträgt bei dieser bevorzugten Ausführungsform zwischen 40 cm und 200 cm. Das Förderrohr weist mit seinem offenen Ende bei dieser Ausführungsform direkt in die Richtung der Achse des Steigrohrs, sodass die aus dem Förderrohr ausgeworfenen, pyrolysierten Altstoffe zur teilweisen Vergasung in die Strömungsrichtung des Gasstroms des Prozessgases geworfen werden.

[0032] Die Förderung der Altstoffe durch das zumindest eine Förderrohr wird gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in apparativer Hinsicht dadurch bewerkstelligt, dass das zumindest eine Förderrohr an einem dem offenen Ende abgewandten Ende eine Fördervorrichtung aufweist, bevorzugt in Form einer in dem Förderrohr angeordneten Förderschnecke, eines Kolbenschiebers und/oder einer Dickstrompumpe. Die Art der Fördervorrichtung kann je nach der Art der Ausgangsstoffe gewählt werden, wobei es bevorzugt auch vorgehen sein kann, dass die Fördervorrichtung an dem dem offenen Ende abgewandten Ende abnehmbar festgelegt ist, wodurch die Fördervorrichtung bei einer Änderung der zu verwertenden

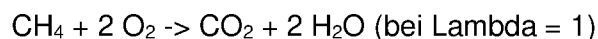
Altstoffe abgenommen und ausgetauscht werden kann.

[0033] Bevorzugt ist es jedoch, dass das zumindest eine Förderrohr an einem dem offenen Ende abgewandten Ende eine Fördervorrichtung in Form einer in dem Förderrohr angeordneten Förderschnecke aufweist, wobei die Förderschnecke eine zentrale Welle aufweist, die zur Einleitung von Inertgas in die Förderschnecke hohl ausgebildet und von Prozessgas, Wasserstoff und/oder Methan durchströmbar ist. Methan, welches sich in dem im Steigrohr vorherrschenden Milieu inert verhält, sowie andere in diesem Milieu sowie in Bezug auf die zu fördernde Sabatier-Reaktion zuträgliche und/oder inerte Gase wie H_2 , CO und N_2 sind zur Förderung der Altstoffe gut geeignet. Das Einbringen von Wasserstoff erhöht wiederum den Anteil von Wasserstoff im gebildeten Synthesegas, wie dies Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist. Andererseits können die Altstoffe durch Einleitung von heißem Prozessgas bereits in der Förderschnecke pyrolysiert werden, was die Förderarbeit zum Betrieb der Schnecke wesentlich reduziert. Weiters ermöglicht es diese bevorzugte Ausführungsform, die Förderschnecke in gewissen Zeitabständen durch Einblasen von heißem Prozessgas und ohne die Förderung von Altstoffen gleichsam auszubrennen, wodurch über die Zeit entstandene Anbackungen entfernt werden können.

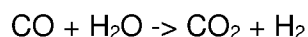
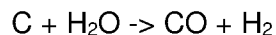
[0034] Im Folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand der Modellsubstanz Polyethylen als Altstoff bilanziert.

BEISPIEL 1:

[0035] Als Prozessgas wird Bio-Erdgas gemäß folgender Reaktionsgleichung verbrannt:



[0036] Bei Einsatz von 1 kg Methan und 4 kg O_2 bilden sich auf diese Weise 2,75 kg bzw. 62,5 Mol CO_2 + 2,25 kg bzw. 125 Mol H_2O als Prozessgas mit einer Temperatur von ungefähr $2000^\circ C$. Mit diesem Prozessgas werden nun etwa 3,4 kg Polyethylen (Modellsubstanz) pyrolysiert und teilvergast, wobei ungefähr 2,92 kg Kohlenstoff als Ruß anfallen. Aus der verbleibenden Gasphase können im Reaktor ungefähr 1,92 kg Methan gebildet werden. Somit entstehen aus 1 kg Bio-Methan ungefähr 2 kg synthetisches Methan. Aus den 2,92 kg Ruß können durch Regeneration unter Einsatz von 9,07 kg H_2O wiederum 1,09 kg H_2 gebildet werden:



[0037] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. In dieser zeigen Figur 1 eine Schnittansicht eines axial unteren Bereichs einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, Figur 2 eine Schnittdarstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einem Absperorgan, Figur 3 eine Filteranordnung im Sinne der vorliegenden Erfindung und Figur 4 einen Reaktor der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

[0038] In Figur 1 ist die erfindungsgemäße Vorrichtung mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnet. Die Vorrichtung 1 umfasst ein entlang einer axialen Richtung beziehungsweise Strömungsrichtung 2 ausgebildetes und vertikal angeordnetes Steigrohr 3. Die axiale Erstreckung ist auch durch die mit dem Bezugszeichen 4 bezeichnete Längsachse versinnbildlicht. Das Steigrohr 3 ist an der Innenseite mit einem Feuerfestmaterial, bevorzugt aus Graphit, Magcarbon (beispielsweise Magcarbon R 94A1 Horn & Co. Group) und/oder SiC ausgekleidet. Mit 5 ist eine in das Steigrohr 3 mündende Zuleitung für das Prozessgas bezeichnet. Die Altstoffe werden dem Förderrohr 9 über eine Aufgabevorrichtung 7 aufgegeben. Die Aufgabevorrichtung 7 ist in der in Figur 1 dargestellten Ausführungsform von einer im Förderrohr aufgenommenen Förderschnecke 6 gebildet, der die zur Produktion des Synthesegases vorgesehenen Altstoffe von der Aufgabevorrichtung 7 seitlich zugeführt werden. Die Förderschnecke 6 rotiert um eine hohle Welle 8, über die Prozessgas, Wasserstoff, Wasserdampf und/oder Methan in die Förderschnecke 6 eingebracht werden kann. Das Förderrohr 9 ist entlang der Strecke L von dem Prozessgas, das über die Zuleitung 5 eingestoßen wird, umströmt. Die Länge L kann je nach den Anforderungen an die Pyrolyse der Altstoffe zwischen 40 cm und 200 cm betragen. Die Bezeichnung „E/R“ in Figur 1 steht für die

Zuführung von Edukt/Reaktant. Die Bezeichnung „M/H₂/PG" steht für die Zuführung von Methan, Wasserstoff und/oder Prozessgas. Die Bezeichnung „PG 1800/2400" steht für die Zuführung von Prozessgas bei Temperaturen von 1800°C bis 2400°C.

[0039] In Figur 2 und den weiteren Figuren sind gleiche oder einander entsprechende Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen. In Figur 2 ist wiederum das Steigrohr 3 sowie das sich darin erstreckende Förderrohr 9 zu erkennen. Die Aufgabevorrichtung 7 ist in Figur 2 vereinfacht dargestellt. Am axial oberen Ende 3a des Förderrohrs 9 münden zwei Abgasleitungen 10 und 11 aus dem Förderrohr 9 aus, wobei die beiden Abgasleitungen 10 und 11 jeweils mit einem in Figur 2 nicht dargestellten Filter zum Abscheiden von Ruß verbunden sind. Die Abgasleitungen 10 und 11 sind über eine Klappe 12, die ein Absperrorgan bildet, alternierend verschließbar beziehungsweise öffenbar, indem die Klappe 12 im Sinne des Doppelpfeils 13 hin und her geschwenkt werden kann. Auf diese Weise können die Abgasleitungen 10 und 11 und somit die nachfolgenden Filter alternierend mit Synthesegas und darin suspendiertem Ruß beaufschlagt werden, um den Ruß aus dem Gas abzuscheiden. Bereits an den Positionen 14 kann dem aus dem Steigrohr 3 austretenden Synthesegas Wasserdampf zur Regeneration des nachfolgenden Filters zugegeben werden. Die Bezeichnung „E/R" in Figur 2 steht ebenfalls für die Zuführung von Edukt/Reaktant.

[0040] In Figur 3 sind nun zwei zueinander parallel angeordnete Filter 15a und 15b dargestellt, die über die Abgasleitung 16 und das Dreiwege-Ventil 17 oder aber auch über die Abgasleitungen 10 und 11 aus Figur 2 alternierend mit Ruß enthaltendem Synthesegas beaufschlagt werden können. Das Filtrieren und Regenerieren der Filter 15a und 15b erfolgt dergestalt, dass in einer ersten Phase der Filter 15b vom Ruß enthaltendem Synthesegas zur Abscheidung von Ruß durchströmt wird, wofür die Induktionsvorrichtung 18b ausgeschaltet ist. Auf diese Weise sammelt sich der Ruß im Filter 15b an, der bevorzugt im Wesentlichen aus einer Filtersäule 19b aus Graphit-, Koks-, Stahlkugeln und/oder Stahlvlies in einem Gehäuse 20b gebildet ist. Am Filterauslass 21b wird von Ruß gereinigtes Synthesegas enthaltend Kohlenmonoxid und angereicherten Wasserstoff erhalten, das für die Sabatier-Reaktion zur Bildung von Methan herangezogen wird. In dieser Phase ist das Wasserdampf-Ventil 22 geschlossen. Gleichzeitig ist der Filter 15a durch Schließen des Abgasventils 23 vom Synthesegas-Strom abgetrennt. Die Induktionsvorrichtung 18a ist aktiviert, um die Filtersäule 19a zu erhitzen, wodurch durch die gleichzeitige Zugabe von Wasserdampf durch das Wasserdampf-Ventil 24 Kohlenmonoxid und Wasserstoff erhalten wird. Wenn die Regeneration des Filter 15a abgeschlossen und der Filter 15b mit Ruß gesättigt ist, wird der Filter 15b in der gleichen Weise mit Wasserdampf durch das Wasserdampfventil 22 und die Wirkung der Induktionsvorrichtung 18b regeneriert und der Filter 15a zum Filtern herangezogen.

[0041] Der Reaktor zur Durchführung der Sabatier-Reaktion ist in Figur 4 mit dem Bezugszeichen 26 versehen. Der Reaktor 26 ist an die beiden Filter 15a und 15b gasdicht angeschlossen und enthält eine Wirbelschicht 27 aus Synthesegas mit nickelhaltigem Stahlwerksstaub bei Temperaturen von 300°C bis 500°C. Bei den durch die relative Anreicherung von Wasserstoff vorherrschenden stöchiometrischen Verhältnissen bildet sich in einer exothermen Reaktion Methan nach einer der weiter oben angeführten Reaktionsgleichungen. Das Synthesegas wird über die gelochten Stangen 28, gegebenenfalls mit verstellbaren Gasdüsen, des Rotors 33 eingebracht. Zur Kühlung des Reaktors 26 und zur Stabilisierung und Durchmischung der Wirbelschicht 27 weist der Reaktor 26 weiters Kühlrippen 29 auf, die die Wand 30 des Reaktors 26 durchsetzen und von einem Kühlmedium wie beispielsweise Wasser, Thermalöl, ionische Flüssigkeiten und/oder Zinn-schmelze durchströmt werden. An einem axial oberen Ende schlagen Paddel 31 Nickelstaub-Partikel nieder. Am Abzug 32 des Reaktors 26 werden Methan und Wasserdampf abgezogen. An einem axial unteren Ende 34 des Reaktors 26 sammelt sich nickelhaltiger Katalysatorstaub und kann von dort in die Wirbelschicht 27 rückgeführt werden. Wenn der Katalysatorstaub beispielsweise durch Schwefelbeladung inaktiviert ist, wird dieser abgezogen und durch frischen beziehungsweise regenerierten Staub ersetzt oder ergänzt. Die Bezeichnung „SG" in Figur 4 steht für die Zuführung von Synthesegas.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Gewinnung von Methan aus heißem Prozessgas unter Umsetzung von kohlenstoffhaltigen Altstoffen, insbesondere Holzschnitzel, Biomasse, Müllfraktionen, Altkunststoffe, Altlösungsmittel, Shredder-Leichtfraktion, Altholz und dergleichen, umfassend zumindest die folgenden Schritte:

Pyrolyse und gegebenenfalls Teilvergasung der kohlenstoffhaltigen Altstoffe mit heißem Prozessgas zur Bildung von Synthesegas enthaltend CO und H₂, wobei die kohlenstoffhaltigen Altstoffe in einer Menge zugegeben werden, die zur Bildung von Ruß führt,

katalytische Methanisierung des Synthesegases zur Bildung von Methan, wobei das heiße Prozessgas bei Temperaturen von 1800°C bis 2400°C, bevorzugt 1900°C bis 2300°C, weiter bevorzugt 2000°C bis 2200°C und insbesondere bevorzugt 2100°C zur Pyrolyse und ggf. Teilvergasung der kohlenstoffhaltigen Altstoffe herangezogen wird und die Zugabe der kohlenstoffhaltigen Altstoffe in einem Ausmaß erfolgt, dass das Synthesegas bei der Pyrolyse und ggf. Teilvergasung auf Temperaturen von 450°C bis 800°C anfällt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die katalytische Methanisierung des Synthesegases in einer Wirbelschicht aus nickelhaltigem Stahlwerksstaub erfolgt, bevorzugt bei Temperaturen von 300°C bis 500°C, weiter bevorzugt bei einer Temperatur von 400°C.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der bei der Pyrolyse und ggf. Teilvergasung gebildete Ruß in einem Filter, z.B. Tiefbettfilter, mit einer Filtersäule aus Graphit-, Koks-, und/oder Stahlkörpern, insbesondere - kugeln abgetrennt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ruß im Filter durch bevorzugt induktives Erhitzen der Filtersäule unter Zugabe von Wasserdampf zu Wassergas enthaltend CO und H₂ umgesetzt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach einer Wassergas-Shift-Reaktion CO₂ durch alkalische Wäsche von H₂ getrennt und abgetrenntes H₂ dem Synthesegas zur Methanisierung hinzugefügt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass feststoffliche Anteile mittels eines an die Wirbelschicht anschließenden Gaszyklons und/oder Schlauchfilters abgetrennt und bevorzugt der Wirbelschicht rückgeführt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass den kohlenstoffhaltigen Altstoffen zur Abtrennung von Halogenen Alkalien und/oder Erdalkalien zugegeben werden.
8. Vorrichtung (1) zum Verwerten von Prozessgas unter Umsetzung von Altstoffen und Bildung von Synthesegas und zur Gewinnung von Methan aus heißem Prozessgas unter Umsetzung von kohlenstoffhaltigen Altstoffen, insbesondere Holzschnitzel, Biomasse, Müllfraktionen, Altkunststoffe, Altlösungsmittel, Shredder-Leichtfraktion, Altholz und dergleichen, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, die Vorrichtung zumindest umfassend:

ein entlang einer axialen Richtung (4) ausgebildetes und vertikal angeordnetes Steigrohr (3), eine in das Steigrohr (3) mündende Zuleitung (5) für das Prozessgas und ein an das Steigrohr (3) anschließendes Abgasaufbereitungssystem für das Synthesegas sowie eine Aufgabevorrichtung (7) für die Altstoffe mit zumindest einem über eine definierte Länge (L) in das Steigrohr (3) ragenden Förderrohr (9), wobei das zumindest eine Förderrohr (9) ein sich in das Steigrohr (3) eröffnendes offenes Ende aufweist und die Zuleitung (5) in axialer Richtung unterhalb des offenen Endes in das Steigrohr (3) mündet, sodass das zumindest eine Förderrohr (9) von von der Zuleitung (5) in das Steigrohr (3) eintretendem Prozessgas umströmbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Abgasaufbereitungssystem zumindest einen Filter (15a, 15b) zum Abscheiden von Ruß aus dem Synthesegas aufweist, wobei der zumindest eine Filter (15a, 15b) mit einer Zuleitung für Wasserdampf in Verbindung steht und beheizbar ist.

9. Vorrichtung (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zumindest eine Filter (15a, 15b) von einer Filtersäule (19a, 19b) aus Graphit-, Koks-, Stahlkugeln und/oder Stahlvlies gebildet ist und eine Induktionsvorrichtung (18a, 18b) die Filtersäule (19a, 19b) umgebend angeordnet ist.
10. Vorrichtung (1) nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest zwei Filter (15a, 15b) parallel zueinander angeordnet und alternierend mit Synthesegas durchströmbar sind.
11. Vorrichtung (1) nach Anspruch 8, 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass am axial oberen Ende (3a) des Steigrohrs (3) zumindest zwei Abgasleitungen (10, 11) ausmünden, die jeweils mit einem Filter (15a, 15b) verbunden sind und die durch zumindest ein Absperrorgan (12) einzeln absperrbar sind, wobei bevorzugt zwei Abgasleitungen (10, 11) ausmünden, die durch ein gemeinsames Absperrorgan (12) alternierend absperrbar sind.
12. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass an den zumindest einen Filter (15a, 15b) ein Reaktor (26) gasdicht anschließt, in dem das Synthesegas mit nickelhaltigem Stahlwerksstaub eine Wirbelschicht ausbildet, bevorzugt bei Temperaturen von 300°C bis 500°C, weiter bevorzugt bei einer Temperatur von 400°C.
13. Vorrichtung (1) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reaktor (26) axial zumindest teilweise von einem Rotor (33) mit mehreren radial gerichteten Stangen (28) durchsetzt ist und das Synthesegas durch die Stangen (28) einbringbar ist.
14. Vorrichtung (1) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reaktor (26) zwischen den Stangen (28) des Rotors (33) radial nach innen durch eine Wand (30) des Rotors (26) ragende Kühlrippen (29) aufweist, die von einem Kühlmedium durchströmbar sind, bevorzugt Wasser, Thermalöl, ionische Flüssigkeiten und/oder Zinnschmelze.
15. Vorrichtung (1) nach Anspruch 12, 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reaktor (26) einen Abzug (32) für in der Wirbelschicht (27) gebildetes Methan aufweist, wobei bevorzugt der Abzug (32) zum Abtrennen von Staub in einen Zyklonabscheider mündet.
16. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aufgabevorrichtung von einer Mehrzahl von radial oder tangential in das Steigrohr (3) ragenden Förderrohren (9) gebildet ist, wobei die Förderrohre (9) bevorzugt in Bezug auf die axiale Richtung schräg nach oben gerichtet sind.
17. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aufgabevorrichtung von einem an einem unteren Ende des Steigrohrs (3) in axialer Richtung, insbesondere konzentrisch, in das Steigrohr (3) ragenden Förderrohr (9) gebildet ist.
18. Vorrichtung (1) nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zumindest eine Förderrohr (9) an einem dem offenen Ende abgewandten Ende eine Fördervorrichtung (6) aufweist, bevorzugt in Form einer in dem Förderrohr angeordneten Förderschnecke (6), eines Kolbenschiebers und/oder einer Dickstrompumpe.
19. Vorrichtung (1) nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zumindest eine Förderrohr (9) an einem dem offenen Ende abgewandten Ende eine Fördervorrichtung (6) in Form einer in dem Förderrohr angeordneten Förderschnecke (6) aufweist, wobei die Förderschnecke (6) eine zentrale Welle (8) aufweist, die zur Einleitung von Inertgas in die Förderschnecke (6) hohl ausgebildet und von Prozessgas, Wasserstoff und/oder Methan durchströmbar ist.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

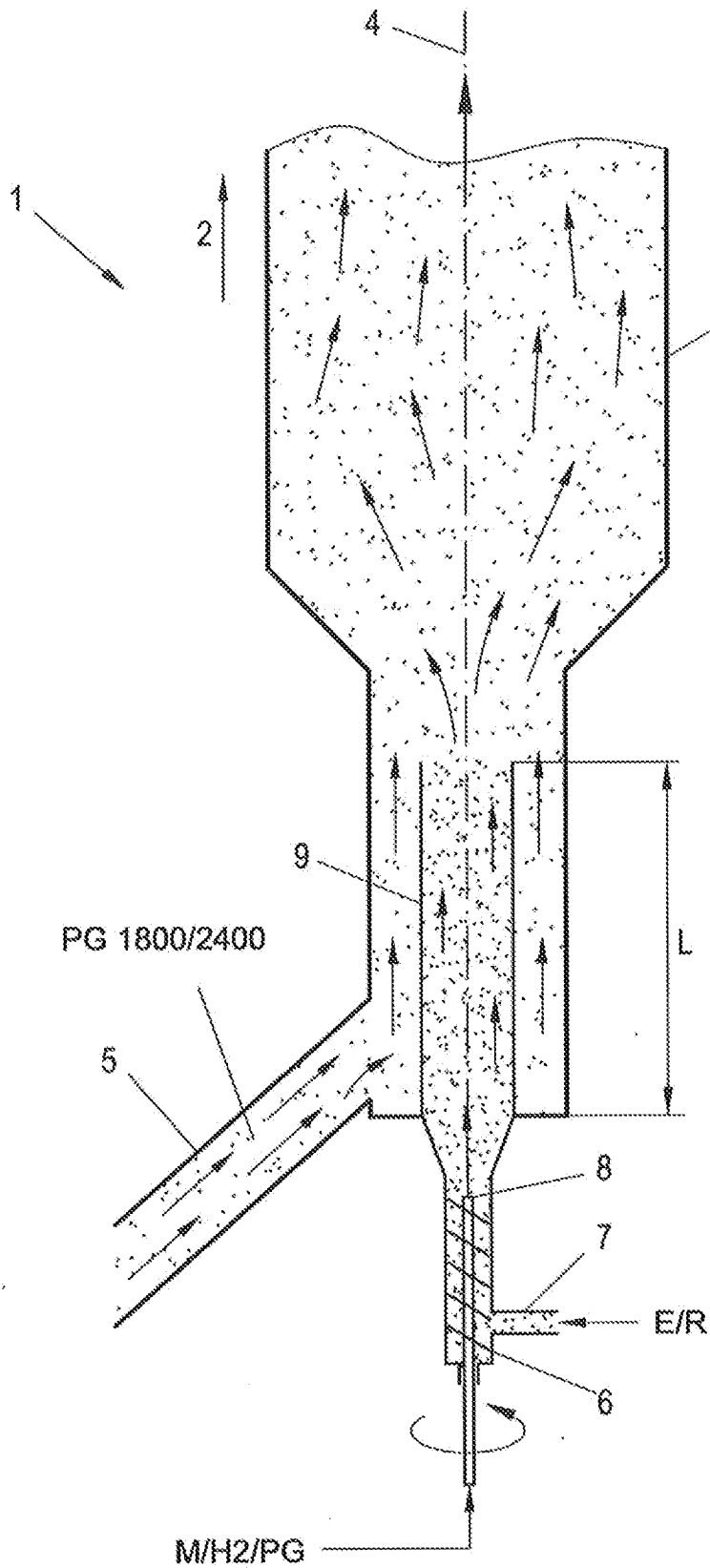


Fig. 1

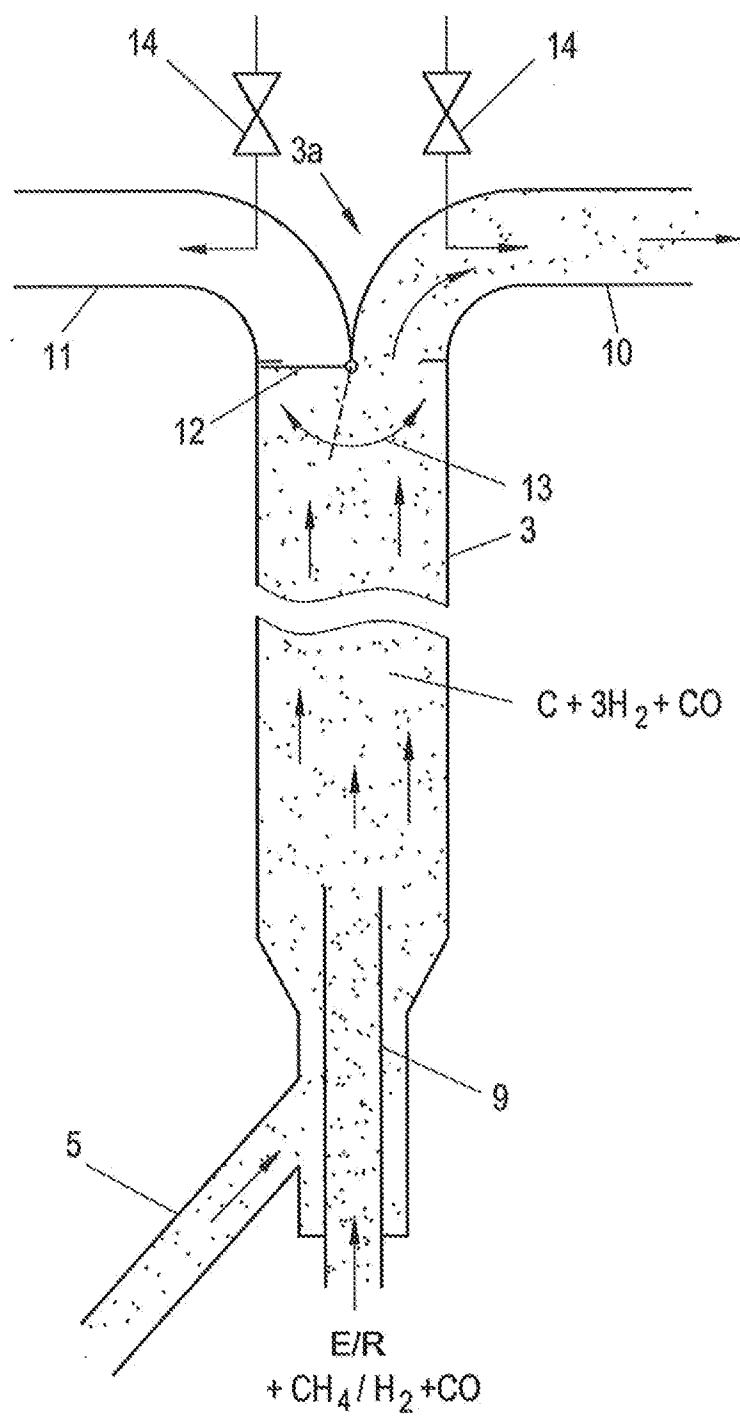


Fig. 2

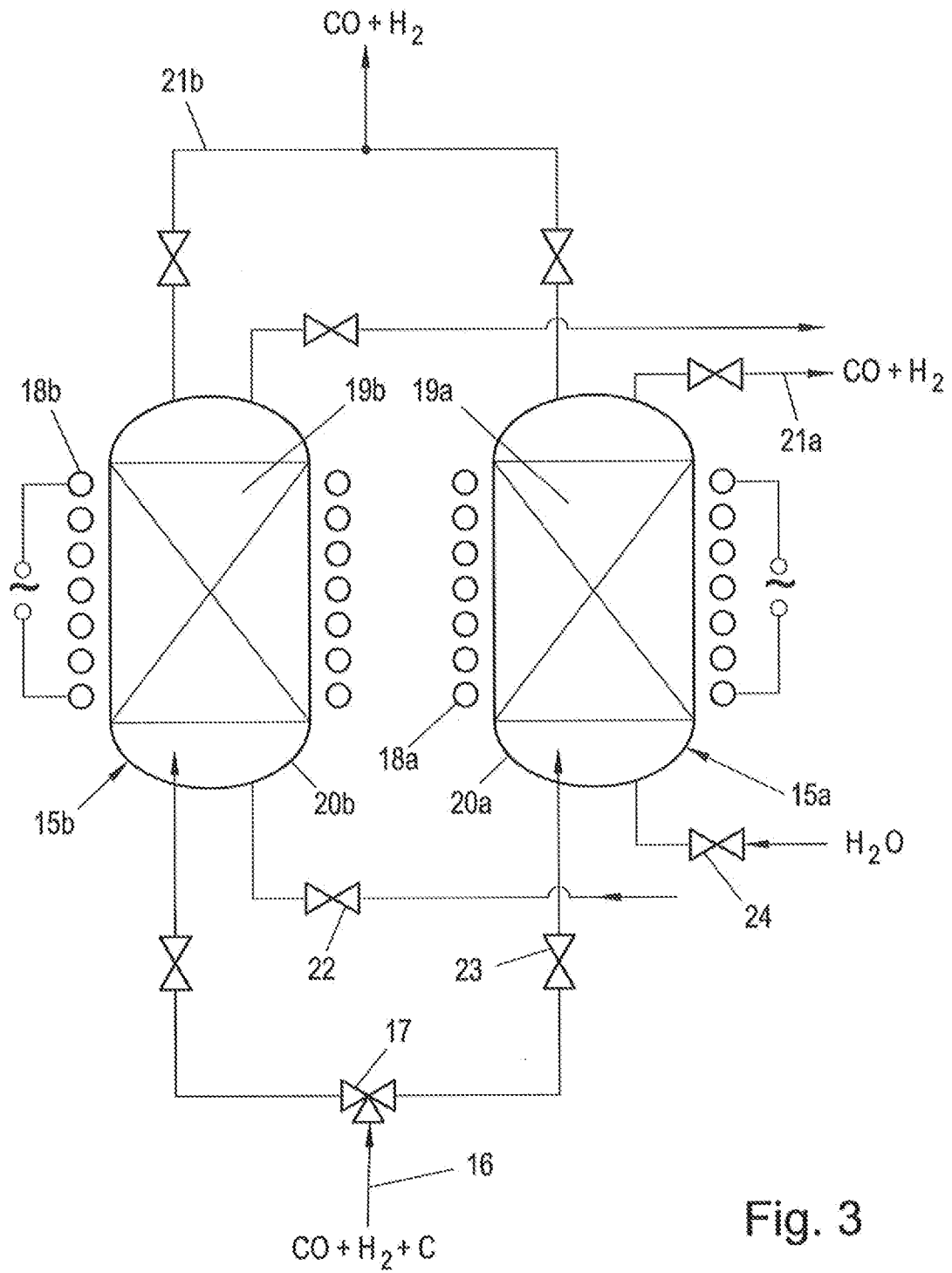


Fig. 3

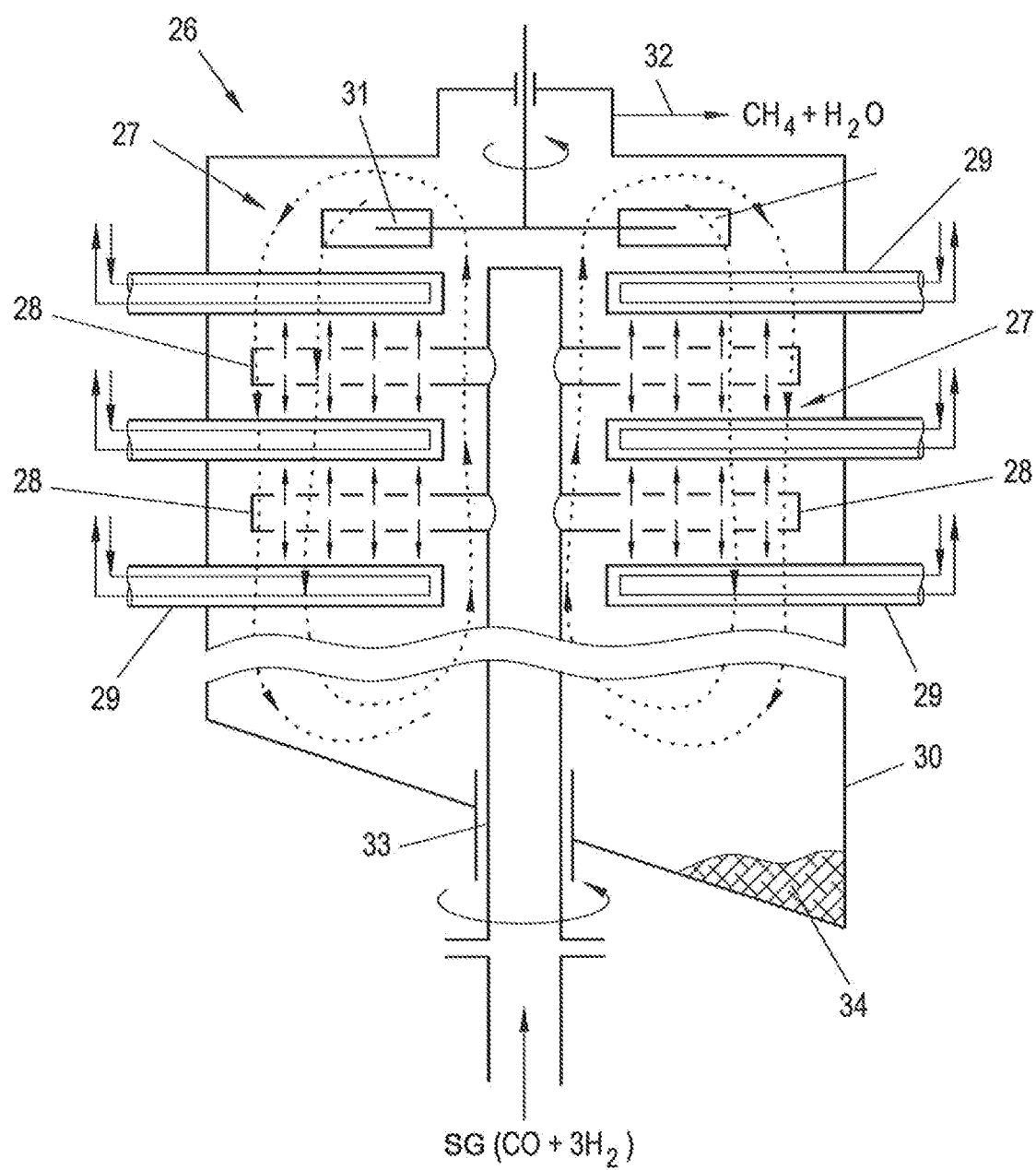


Fig. 4