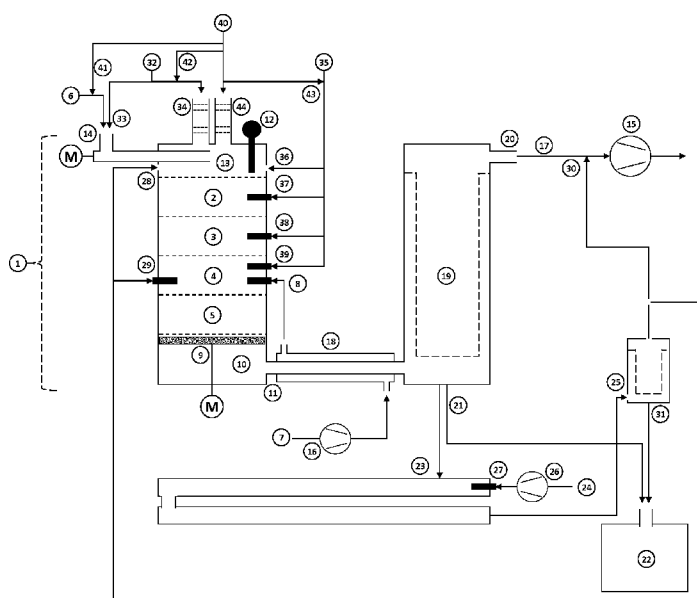


(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/058093 A1

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,



(S7) Abstract: The invention relates to a method for the partial oxidation of pyrolytically produced breakdown products for producing synthesis gas (17) in a direct-current reactor (1) through which solid biomass particles (6) flow, in which synthetic high-carbon substances (32/35) are mixed with the solid biomass particles (6), wherein the solid biomass particles (6) are used in a drying area (2) and in a downstream pyrolysis area (3) as a migratory reaction surface for the pyrolytic breakdown of the synthetic high-carbon substances (32/35), and the oxygen which is chemically bound in the solid biomass particles (6) is at least partially used as an oxidant

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2020/058093 A1



KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

for the partial oxidation, wherein an additional supply of oxygen-containing gas (7) is carried out in an oxidation area (4), whereby the biomass particles (6) are at least partially converted into fine oxidation residues having an average particle size of less than 1 mm.

(57) **Zusammenfassung:** Verfahren zur Partialoxidation von pyrolytisch erzeugten Spaltprodukten zur Herstellung von Synthesegas (17) in einem mit festen Biomasse-Partikeln (6) durchströmten Gleichstromreaktor (1), bei dem den festen Biomasse-Partikeln (6) synthetische kohlenstoffreiche Substanzen (32/35) beigemischt werden, wobei die festen Biomasse-Partikel (6) in einer Trocknungszone (2) und in einer nachfolgenden Pyrolysezone (3) als wandernde Reaktionsoberfläche für die pyrolytische Spaltung der synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen (32/35) genutzt werden und der in den festen Biomasse-Partikeln (6) chemisch gebundene Sauerstoff zumindest teilweise als Oxidationsmittel für die Partialoxidation dient, wobei eine zusätzliche Zuführung von sauerstoffhaltigem Gas (7) in eine Oxidationszone (4) erfolgt, wodurch die Biomasse-Partikeln (6) und zumindest teilweise in feinteilige Oxidationsrückstände mit einer mittleren Partikelgröße von kleiner als 1 mm umgewandelt werden.

5

10

15

**VERFAHREN ZUR PARTIALOXIDATION VON PYROLYTISCH ERZEUGTEN
SPALTPRODUKTEN ZUR HERSTELLUNG VON SYNTHESEGAS IN EINEM
GLEICHSTROMREAKTOR**

20

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Synthesegas aus festen Biomasse-
Partikeln und synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen unter Verwendung eines
25 Gleichstromreaktors gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Die Verwertung von synthetischen organischen Abfällen nimmt global eine stark
zunehmende Bedeutung ein. Insbesondere Plastik-Müll wird zunehmend zur Bedrohung der
Umwelt, vor allem in Entwicklungsländern und in den Weltmeeren.

In Industrie- und Schwellenländern hat sich die Müllsammlung zunehmend etabliert. Insbesondere in Deutschland und auch in einigen anderen EU-Staaten werden Kunststoffabfälle weitestgehend verwertet. Dabei ist nach wie vor ein sehr hoher Anteil an thermischer Verwertung in Müllverbrennungsanlagen oder in EBS-Kraftwerken zu
5 verzeichnen.

Solche Verbrennungsanlagen sind zumeist durch hohe Durchsatzkapazitäten gekennzeichnet, um die ebenfalls hohen Investitionsvolumina und die relativ niedrige Energieeffizienz bei der Stromerzeugung mit den Annahmegebühren für den Input-Strom zu kompensieren. Dadurch muss der Müll über erhebliche Distanzen zu den Anlagen
10 transportiert werden, wodurch Zusatzkosten und vor allem zusätzliche CO₂-Emissionen entstehen. Es resultiert daher insgesamt eine schlechte Ökobilanz im Rahmen der zentralen Abfallverwertung.

Die niedrige Energieeffizienz bei der Stromerzeugung der Müllverbrennungsanlagen beruht auf dem Problem, dass solche Verbrennungsanlagen ausschließlich zur Dampferzeugung
15 geeignet sind, wobei die Dampftemperatur und damit auch der Dampfdruck außerdem noch durch auftretende Hochtemperaturkorrosion, welche vom Chlor im Müll ausgelöst wird, relativ niedrig gefahren werden muss. Dadurch resultiert eine sehr niedrige Effizienz bei der Verstromung über klassische Dampfturbinen, sodass ein Großteil der erzeugten Energie nur noch als Niedertemperaturwärme genutzt werden kann.

20 Zur Steigerung der Effizienz bei der Müll-Verwertung wurden zahlreiche Anstrengungen in der Vergangenheit unternommen. Diese resultierten in Verfahren zur Pyrolyse und auch zur Vergasung von Müll oder auch bestimmten kunststoffhaltigen Abfallfraktionen.

Wesentliche Entwicklungen waren Pyrolyseverfahren, die das aus den Input-Strömen durch indirekte Energiezufuhr Pyrolysegas erzeugt haben, welches zumeist durch direkte
25 Verbrennung in Dampf und dann, analog der Verbrennungsanlagen, in Strom über Dampfturbinen umgewandelt wurde. Beispielhaft sei hier das in der DE3633212A1 vorgeschlagene Schwelbrennverfahren von KWU-Umwelttechnik genannt. Solche Verfahren konnten jedoch den unbefriedigenden Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung nicht verbessern und waren ebenfalls aufgrund ihrer Größe mit hohen Transportaufwendungen für
30 die Müll-Andienung verbunden.

In DE102007062414B4 wird ein Verfahren vorgeschlagen, dass die Vergasung von kohlenstoffreichen Substanzen in einem Kalkwanderbett vorsieht. Damit konnte zwar die Effizienz durch Erzeugung eines gereinigten Synthesegases deutlich erhöht werden,

allerdings weisen solche Anlagen ebenfalls eine Größe auf, die ebenfalls einen erheblichen Transportaufwand für die Inputmaterialien erfordern. Weiterhin besteht ein Nachteil darin, dass ein grobstückiges Kalkwanderbett mit hohem apparativem Aufwand im Kreislauf geführt werden muss.

- 5 Insgesamt weisen die Verfahren des Standes der Technik erhebliche Nachteile auf, die sich insbesondere aufgrund ihrer Größe und technologischer Ausführung in hohen Transportaufwendungen für den Müll und zumeist niedriger Energieeffizienz niederschlagen.

- Die Technologien des Standes der Technik werfen darüber hinaus auch erhebliche Probleme bei der Bewältigung der Energiewende auf, da sie neben den oben genannten
10 Nachteilen zusätzlich die Stromnetze durch lokal hohe Einspeisung belasten.

- Weiterhin fehlt es an einer Technologie, die eine Verwertung von Abfallfraktionen in kleinem Maßstab erlaubt, um de-lokale Verwertungen, insbesondere an den Abfallanfallstellen zu ermöglichen. Damit fehlt es auch an der Möglichkeit, beispielsweise spezifisch anfallende Abfallströme in kleineren oder mittleren Industriebetrieben im Rahmen von integrierten
15 Verwertungskreisläufen direkt wieder in Produktionsprozessen zu verwerten.

- Grundsätzlich sind auch Vergasungstechnologien bekannt, die auch in kleinerem Maßstab unter Nutzung kleiner de-lokaler Anlagen realisierbar sind. Hierbei handelt es sich jedoch zumeist um Technologien, bei denen Biomasse, beispielsweise Holzhackschnitzel oder Holzpellets als Input-Material zum Einsatz kommen. Ein solches Verfahren ist beispielsweise
20 in EP1436364B1 offenbart. Solche Verfahren haben ausschließlich die Erzeugung von Energie zum Ziel weil sie aufgrund ihrer spezifischen Verfahrens- und Steuerungskonzepte bisher nur Holz oder andere Biomasse-Materialien verarbeiten können. Dadurch konnten solche Technologien bisher keinen Beitrag bei der Abfallverwertung, beispielsweise bei der Verwertung von synthetischen Kunststoffabfällen, leisten.

- 25 Durch die Einschränkung auf Biomassen war bisher auch der Heizwert der Inputmaterialien auf ein niedriges, für Biomasse übliches Niveau begrenzt, sodass das daraus resultierende Holzgas eine ebenfalls niedrige Energiedichte aufweist.

- Für die vorliegende Erfindung hat sich daher die Aufgabe gestellt, ein Verfahren bereitzustellen, das die oben beschriebenen Nachteile nicht aufweist und das in der Lage ist,
30 bestimmte Abfallfraktionen in kleinen de-lokalen Anlagen mit einer hohen Energie- und Verstromungseffizienz durch Umwandlung in gereinigtes, heizwertreiches Synthesegas zu verwerten. Weiterhin war die Aufgabe, die Ökobilanz bei der Abfallverwertung durch de-

lokale Verwertungskonzepte zu verbessern und gleichzeitig durch de-lokale Bereitstellung einer Stromerzeugungsgrundlast die Stromnetze zu entlasten.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass eine Partialoxidation von pyrolytisch erzeugten Spaltprodukten zur Herstellung von Synthesegas in einem mit festen Biomasse-Partikeln durchströmten Gleichstromreaktor durchgeführt wird, wobei den festen Biomasse-Partikeln synthetische kohlenstoffreiche Substanzen beigemischt werden. Die festen Biomasse-Partikel werden dabei in einer Trocknungszone und in einer nachfolgenden Pyrolysezone als wandernde Reaktionsoberfläche für die pyrolytische Spaltung der synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen genutzt. Der in den festen Biomasse-Partikeln chemisch gebundene Sauerstoff dient in dem erfindungsgemäßen Verfahren zumindest teilweise als Oxidationsmittel für die Partialoxidation, wobei eine zusätzliche Zuführung von sauerstoffhaltigem Gas in eine Oxidationszone erfolgt, wodurch die Biomasse-Partikeln und die synthetischen, kohlenstoffreichen Substanzen ganz oder teilweise in feinteilige Oxidationsrückstände mit einer derartigen Partikelgröße umgewandelt werden, dass sie aerosolfähig sind.

Es hat sich gezeigt, dass es bei Einsatz von bestimmten, synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen möglich ist, die Oxidation im Rahmen des Verfahrens derart durchzuführen, dass alle entstehenden Oxidationsprodukte eine feinkörnige Struktur aufweisen, die sie aerosolfähig macht und die Oxidationsprodukte entsprechend über das Synthesegas ausgetragen werden können, wenn dies gewünscht ist. Ähnlich wie bei einem klassischen Holzvergaser ist daher kein Ascheaustrag am Boden des Reaktors erforderlich, da evtl. im Reaktor noch vorhandene grobkörnigere Oxidationsprodukte mechanisch zerkleinert werden können, bis sie die Aerosolfähigkeit erreichen. Dies ist bei den Biomasse-Partikeln, z.B. Holz, in der Regel der Fall, als Beispiel für eine synthetische kohlenstoffreiche Substanz, die ebenfalls ausschließlich aerosolfähige Oxidationsreste bilden kann, ist Polystyrol zu nennen.

Dabei besteht eine bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens darin, dass die in einem einzigen Gleichstromreaktor erzeugte Synthesegasmenge einer thermischen Leistung von 10 bis 2000 kW, bevorzugt einer thermischen Leistung von 10 bis 1000 kW und besonders bevorzugt einer thermischen Leistung von 10 bis 500 kW entspricht. Dadurch können de-lokale Lösungen bevorzugt an den Abfall-Anfallstellen in unterschiedlicher Kapazitätsauslegungen realisiert werden.

Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn die erzeugte Synthesegasmenge über die Ansaugmenge einer Synthesegasabzugseinrichtung, vorgegeben wird. Dadurch wird praktisch eine bestimmte Gasmenge durch den Gleichstromreaktor durchgezogen, die sich

letztlich aus dem sauerstoffhaltigen Gas aus der Oxidationszone speist und im weiteren Verlauf des Prozesses um gasförmige Reaktions- und Spaltprodukte aufgrund der physikalisch-chemischen Abläufe ergänzt wird.

- 5 Um einen optimalen Betrieb des Gleichstromreaktors zu gewährleisten ist es vorteilhaft, wenn die Regelung des Massenstroms der festen Biomasse-Partikel in den Gleichstromreaktor über den Füllstand des Gleichstromreaktors erfolgt.

- Die Beimischung von synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen erfordert eine besondere Steuerung des erfindungsgemäßen Verfahrens, indem die Dosierung der synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen so gestaltet wird, dass sich in einem sich bildenden
- 10 Gleichgewichtsverhältnis von vergasten festen Biomasse-Partikeln und vergasten synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen eine anteilige Vergasung von 20 % bis 80%, bevorzugt von 20% bis 50% und besonders bevorzugt von 20% bis 30% der festen Biomasse-Partikel bezogen auf den gesamten dosierten Massenanteil von festen Biomasse-Partikeln und synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen ergibt. Diese Steuerung ist von
- 15 essentieller Bedeutung für das Funktionieren des Verfahrens, da stets eine Mindestdurchflussmenge an festen Biomasse-Partikeln als Reaktionsoberfläche gewährleistet werden muss.

- Weiterhin kann das Verfahren dadurch vorteilhaft gestaltet werden, indem die feinteiligen Oxidationsrückstände nach dem Durchwandern einer Reduktionszone als staubförmige
- 20 Bestandteile zumindest teilweise zusammen mit dem entstehenden Synthesegasstrom als Aerosol ausgetragen werden.

- Je nach Einsatzqualität der synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen und/oder der Biomasse-Partikel kann es für die Durchführung des Verfahrens vorteilhaft sein, dass die Oxidationsrückstände zumindest teilweise über den Boden des Aschebunkers am unteren
- 25 Ende des Gleichstromreaktors über eine Austragsvorrichtung ausgetragen werden. Sofern nämlich die Oxidationsrückstände nicht aerosolfähig sind und nicht innerhalb eines vertretbaren Zeitrahmens innerhalb des Reaktors durch Bewegungen des Materials mechanisch zerkleinert werden können, bestünde ansonsten die Gefahr, dass sich der Reaktor vom Boden her mit diesen Rückständen zusetzt und das Verfahren zum Stillstand
- 30 kommt. Dem kann durch das Ausschleusen entgegengewirkt werden.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens besteht darin, dass die Oxidationsrückstände beim Verlassen der Reduktionszone durch eine bewegte mechanische Trennvorrichtung von grobteiligen Oxidationsrückständen getrennt, und die grobteiligen

Oxidationsrückstände in der Reduktionszone bis zu einer ausreichenden prozessbedingten Zerkleinerung zurückgehalten werden.

Das Verfahren kann besonders vorteilhaft betrieben werden, wenn die Temperatur in der Oxidationszone bevorzugt 800 – 1400 Grad Celsius und besonders bevorzugt 1000 – 1300 Grad Celsius beträgt.

Je nach regionaler Verfügbarkeit kann das Verfahren vorteilhaft betrieben werden, indem als feste Biomasse-Partikeln Holzhackschnitzel und/oder kompaktierte Holzpellets und/oder vorzerkleinerte Althölzer eingesetzt werden. Ebenso kann das Verfahren auch mit Olivenkernen, Palmkernschalen oder mit Kokosnussschalen als feste Biomasse-Partikeln realisiert werden.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform des Verfahrens besteht darin, als synthetische kohlenstoffreiche Substanzen kunststoff-haltige Feststoffe oder brennbare organische Flüssigkeiten einzusetzen. Dabei kann es vorteilhaft sein, wenn die kunststoffhaltigen Feststoffe, die beispielsweise aus kunststoffhaltigen Abfallfraktionen bestehen können, vor dem Einsatz im Gleichstromreaktor kompaktiert werden.

Das Verfahren kann weiterhin dadurch vorteilhaft gestaltet werden, indem die kunststoffhaltigen Feststoffe zusammen im Gemisch mit den festen Biomasse-Partikeln oder in einem gesonderten Materialstrom dem Gleichstromreaktor zugeführt werden.

Für den Fall, dass brennbare organischen Flüssigkeiten in flüssiger Form verwertet werden sollen besteht eine vorteilhafte Ausführungsform darin, dass diese Flüssigkeiten über die Trocknungszone oder über die Pyrolysezone dem Gleichstromreaktor zugeführt werden.

Eine der wesentlichen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass die eingesetzten synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen einen höheren Heizwert aufweisen als die festen Biomassepartikel, sodass der Heizwert des entstehenden Synthesegases höher ist als der eines ohne Beimischung von synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen erzeugten Synthesegases.

Insbesondere bei dem Einsatz von halogenhaltigen synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen ist es besonders vorteilhaft, dem Gleichstromreaktor parallel basische Stoffe zuzuführen, die den festen Biomasse-Partikeln oder den synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen zugemischt oder in einem separaten Materialstrom in den Gleichstromreaktor eindosiert werden. Dadurch können saure Spaltprodukte wie Chlorwasserstoff, Bromwasserstoff oder Blausäure als Salze gebunden werden. Gleichzeitig kann so auch

eine Adsorption von Schwermetallen an den basischen Stoffen vorteilhaft ausgenutzt werden.

Diese Effekte sind besonders dann vorteilhaft ausnutzbar, wenn es sich bei den basischen Stoffen um Oxide oder Hydroxide oder Carbonate handelt, die als Kationen Alkali- oder Erdalkalimetalle aufweisen. Insbesondere bei der Verwendung von Calciumoxid oder Calciumhydroxid oder Calciumcarbonat.

Die Körnung der basischen Stoffe ist vorzugsweise entsprechend der Partikelgröße der Oxidationsrückstände so gewählt, dass die basischen Stoffe aerosolfähig sind und/oder über die Austragsvorrichtung am Boden des Reaktors ausgeschleust werden können. Sofern kein Austrag am Boden möglich ist, müssen die basischen Stoffe entsprechend auch in geeigneter Weise staubförmig sein, um über den Gasstrom ausgetragen werden zu können.

Für Mischfraktionen kann auch entsprechend ein Gemisch aus unterschiedlichen Körnungen der basischen Stoffe zum Einsatz kommen.

Der Einsatz gröberer Körnungen der basischen Stoffe kann dann besonders sinnvoll sein, wenn es bei bestimmten Arten von Aschen, die bei der Oxidation synthetischer Stoffe entstehen können, zum Schmelzvorgängen kommt. Die aufgeschmolzenen Aschereste können durch die gröberen Körner aus basischem Material gebunden und über die Austragsvorrichtung am Boden des Reaktors ausgeschleust werden, so dass wirksam verhindert werden kann, dass Ascheschmelze das Verfahren im Reaktor behindert oder zum Erliegen bringt.

Es ist zu berücksichtigen, dass die basischen Stoffe ebenfalls mechanischen Zerkleinerungsvorgängen unterliegen, sofern sie im Reaktor verbleiben.

Für die Verwertung des erzeugten Synthesegases ist es vorteilhaft, wenn das staubhaltige Synthesegas abgekühlt, und die feinteiligen Oxidationsrückstände aus dem Synthesegas über mechanische Trennmethoden abgetrennt werden.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die abgetrennten feinteiligen Oxidationsrückstände zumindest teilweise in einem nachgelagerten Schneckenreaktor nachoxidiert und das entstehende Oxidationsgas zumindest teilweise in den Gleichstromreaktor zurückgeführt, und/oder zumindest teilweise dem erzeugten Synthesegas beigemischt wird.

Die Verwertung des erzeugten Synthesegases kann dadurch vorteilhaft gestaltet werden, indem die Synthesegasabzugseinrichtung als selbstansaugender Verbrennungsmotor

ausgestaltet wird, in dem das Synthesegas als Treibstoff zur Erzeugung mechanischer Energie und Wärme dient.

Eine weitere vorteilhafte Verwertung besteht darin, dass das Synthesegase als Treibstoff in einer Gasturbine zur Erzeugung mechanischer Energie und Wärme verwertet, und/oder zum Antrieb von Wärmekraftmaschinen, die mit internen Sekundärmedien arbeiten, durch indirekte Zuführung seiner Verbrennungswärme verwertet wird.

In der nachgelagerten Verwertung der so erzeugten mechanischen Energie kann diese mit hohem Wirkungsgrad über Generatoren in elektrischen Strom umgewandelt werden.

Die durch die Beimischung von synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen verursachte Heizwertänderung des Synthesegases erfordert in der besonders bevorzugten Variante der Verwendung eines selbstansaugenden Verbrennungsmotors und der Umwandlung der mechanischen Energie in elektrischen Strom besondere Steuerungsmaßnahmen, um das erfindungsgemäße Verfahren stabil zu betreiben. Dabei ist es bevorzugt, die Drehzahl des selbstansaugenden Verbrennungsmotors durch Erhöhung oder Drosselung der angesaugten Synthesegasmenge und/oder durch Regelung des Gegen-Drehmoments des Generators über die abgenommene Strommenge und/oder durch Zu- oder Abschaltung einzelner von mehreren mechanisch gekoppelter Generatoren im bevorzugten Bereich konstant zu halten.

Alternativ zur Erzeugung mechanischer Energie, kann das Synthesegas in thermischen Prozessen als Ersatz für fossile Energieträger oder als Rohstoff für chemische Prozesse eingesetzt werden. In diesem Fall kann es vorteilhaft sein, dass die Synthesegasabzugsvorrichtung als Gasförderungsaggregat, z.B. als Gasgebläse ausgestaltet wird, welches vorzugsweise eine Gasmengendurchflussregelungseinrichtung aufweist und mit dem das Synthesegas dem nachgelagerten Verwertungsprozess zugeführt wird.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus dem Wortlaut der Ansprüche sowie aus der folgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung. Es zeigt:

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines mit festen Biomasse Partikeln durchströmten Gleichstromreaktors zur Durchführung des Verfahrens zur Herstellung von Synthesegas bei gleichzeitiger Beimischung von festen und/oder flüssigen synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen zum Strom der festen Biomasse-Partikel.

Es wird zunächst der Betrieb des Gleichstromreaktors nur mit festen Biomasse Partikeln beschrieben, ohne dass synthetische kohlenstoffreiche Substanzen beigemischt werden.

Der Gleichstromreaktor 1 weist in einem Vertikalschacht verschiedene Reaktionszonen auf. Diese ordnen sich von oben nach unten wie folgt an: Trocknungszone 2, Pyrolysezone 3, Oxidationszone 4 und Reduktionszone 5. Die festen Biomassepartikeln 6, beispielsweise Holzhackschnitzel durchströmen diese Reaktionszonen von oben nach unten und werden in der Oxidationszone 4 durch einströmendes sauerstoffhaltiges Gas 7, beispielsweise mit Luft partiell oxidiert. Die dabei entstehende fühlbare Wärme wirkt durch Wärmeübertragung nach oben in die Pyrolysezone 3 und abgeschwächt in die Trocknungszone 2. In der Pyrolysezone 3 werden dadurch die Biomasse-Partikel derart stark erwärmt, dass diese thermisch unter Bildung von pyrolytisch erzeugten Spaltprodukten, gekrackt werden. Zum einen entstehen gasförmige Spaltprodukte, die als Pyrolysegas bezeichnet werden sowie feste kohlenstoffreiche Spaltprodukte, die als Pyrolysekoks bezeichnet werden. Die verbleibende Wärme aus der Pyrolysezone 3 wirkt durch Wärmeübertragung noch weiter nach oben in die Trocknungszone 2, wo die Biomassepartikel, die üblicherweise noch Restwasser enthalten, vorgetrocknet werden.

Die pyrolytisch erzeugten gasförmigen und festen Spaltprodukte strömen im Gleichstrom aus der Pyrolysezone 3 in die Oxidationszone 4. In dieser Zone werden die Spaltprodukte durch Luft 7, die über Injektionslanzen 8 eingebracht wird, zumindest teilweise oxidiert. Das dabei entstehende Oxidationsgas enthält im Wesentlichen Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Wasserdampf. Die bei der Oxidation freiwerdende Oxidationsenthalpie liefert die notwendige Energie für das erfindungsgemäße Verfahren und gewährleistet, dass der Prozess autotherm, das heißt ohne weitere Zufuhr thermischer Energie, betrieben werden kann. Dabei entstehen in der Oxidationszone 4 Temperaturen im Bereich von 800 bis 1400 Grad Celsius.

Die in der Oxidationszone resultierende Mischung aus Pyrolysegas, Oxidationsgas, Pyrolysekoks und Asche strömt weiter nach unten in die Reduktionszone 5. Dort findet zumindest teilweise eine chemische Reduktion des Pyrolysekoks statt, indem Kohlendioxid mit dem Pyrolysekoks zumindest teilweise unter Bildung von Kohlenmonoxid reagiert. Diese sogenannte Boudouard-Reaktion ist eine Gleichgewichtsreaktion, die bei den herrschenden Temperaturen in der Reduktionszone 5 überwiegend auf die gewünschte Seite der Kohlenmonoxid-Bildung verschoben ist. Dadurch wird die Qualität des resultierenden Synthesegases verbessert, indem sich dadurch der Heizwert erhöht.

Am unteren Ende der Reduktionszone 5 verbleiben noch feste Oxidationsrückstände bestehend aus restlichem Pyrolysekoks und Asche zurück. Am unteren Ende der Reduktionszone weist der Gleichstromreaktor eine bewegte mechanische Trennvorrichtung 9 auf. Diese Trennvorrichtung 9 dient dazu, nur feinteilige Oxidationsrückstände, vorzugsweise Ascheanteile aus der Reduktionszone 5 auszutragen, während gleichzeitig das Synthesegas zusammen mit den feinteiligen Oxidationsrückständen durch die Trennvorrichtung weiter nach unten in den Aschebunker 10 strömen. Der Aschebunker weist einen Gasaustritt 11A auf durch den das Synthesegas ausströmt und dabei die feinteiligen Oxidationsrückstände zumindest teilweise als Aerosol mit austrägt.

- 10 Weiterhin weist der Aschebunker 10 eine Austragsvorrichtung 11B auf, über die solche Anteile an den Oxidationsrückständen ausgetragen werden, die keine geeigneten physikalischen Eigenschaften, beispielsweise keine ausreichend kleine Partikelgröße für die Bildung eines Aerosols, aufweisen.

- 15 Die gröberen Oxidationsrückstände werden durch die Trennvorrichtung 9 solange in der Reduktionszone 5 gehalten, bis auch diese durch weiter fortschreitende Reduktionsreaktion sich soweit in ihrer Partikelgröße reduziert haben, dass sie die Trennvorrichtung 9 hin zum Aschebunker 10 durchströmen können.

- Durch den oben beschriebenen Prozess werden die festen Biomasse-Partikel 6 kontinuierlich verbraucht, sodass der Füllstand im Gleichstromreaktor 1 absinkt. Der Füllstand im Gleichstromreaktor wird über eine Füllstandsmessvorrichtung 12, die sich im Kopfraum 13 des Gleichstromreaktors 1 befindet, in regelmäßigen Intervallen automatisch detektiert. Bei Absinken des Füllstandes unter ein vorgegebenes Minimum, generiert die Füllstandsmessvorrichtung 12 ein Einschaltsignal, dass ein automatisches Nachfüllen mit festen Biomasse-Partikel 6 in den Kopfraum 13 mit Hilfe einer Biomasse-Fördereinrichtung 14 in Gang setzt. Die Nachfüllung wird von der Füllstandsmessvorrichtung wieder gestoppt, sobald der Füllstand im Gleichstromreaktor ein vorgegebenes Maximum erreicht. Durch diese Füllstandsregelung wird sichergestellt, dass der Füllstand im Gleichstromreaktor stets automatisch auf einem vorbestimmten Niveau gehalten wird.

- 30 Die Gaserzeugungsleistung des Gleichstromreaktors wird über eine Synthesegasabzugsvorrichtung 15 vorgegeben, die eine konstante Gasmenge aus dem Gleichstromreaktor 1 über den Gasaustritt 11 abzieht. Der Gasabzug führt zu einer Druckabsenkung im Gleichstromreaktor 1. Gleichzeitig steht an den Injektorlanzen 8 ständig Luft im Überdruck an, indem die Luft 7 über ein Luftgebläse 16 vorverdichtet wird. Dadurch wird quasi automatisch so viel Luft 7 in den Gleichstromreaktor 1 nachgefördert, wie für den

Ausgleich des durch den Gasabzug erzeugten Unterdrucks notwendig ist. Daraus ergibt sich ein kontinuierlicher Fluss von Synthesegas 17 und nachgeführter Luft 7 in einem Druck-geregelten Gesamtsystem.

5 Das im Gleichstromreaktor 1 erzeugte und feinteilige Oxidationsrückstände enthaltende Synthesegas gelangt über den Gasaustritt 11 in einen Gegenstromwärmetauscher 18, wo das heiße Synthesegas seine fühlbare Wärme an die Luft 7 abgibt. Damit wird der Energieinhalt des Synthesegases zumindest teilweise über die vorgewärmte Luft 7 wieder in den Prozess über die Injektionslanzen 8 zurückgeführt.

10 Das im Gegenstromwärmetauscher 18 abgekühlte und feinteilige Oxidationsrückstände enthaltende Synthesegas wird in einen Synthesegasfilter 19 geleitet, wo die feinteiligen Oxidationsrückstände aus dem Synthesegas kontinuierlich abgetrennt werden. Das so gereinigte Synthesegas gelangt über den Filtergasaustritt 20 weiter in Synthesegasabzugseinrichtung 15.

15 Die im Synthesegasfilter 19 abgetrennten feinteiligen Oxidationsrückstände können neben Ascheanteilen noch nennenswerte Anteile an Pyrolysekoks enthalten. Die feinteiligen Oxidationsrückstände werden bei 21 aus dem Synthesegasfilter 19 ausgetragen. Je nach Qualität und Weiterverwendung, können die feinteiligen Oxidationsrückstände direkt in geeignete Zwischenbehälter 22 oder auch direkt einer geeigneten Weiterverwendung zugeführt werden.

20 Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass die feinteiligen und Pyrolysekoks enthaltende Oxidationsrückstände nach Abtrennung im Synthesegasfilter 19 einem nachgelagerten Nachreformer 23 zugeführt werden. Bei diesem Nachreformer kann es sich vorzugsweise um einen Schneckenreaktor handeln. Im Nachreformer wird der Anteil an Pyrolysekoks in den feinteiligen Oxidationsrückständen
25 zumindest teilweise durch Zuführung von Nachreformierungs-Luft 24 zu einem Gemisch aus Kohlenmonoxid und Kohlendioxid oxidiert, das als Nachreformiergas aus dem Nachreformer 23 über einen Nachreformierungsgasfilter 25 entnommen wird. Die Nachreformierungs-Luft wird über ein Nachreformierungs-Luftgebläse 26 dem Nachreformer 23 über die eine Dosiereinheit 27 zugeführt.

30 Je nach Qualität des erhaltenen Nachreformiergases kann dieses in den Gleichstromreaktor 1 zurückgeführt werden, um den Kohlendioxidanteil in der Reduktionszone 5 zumindest teilweise durch Reduktion in Kohlenmonoxid umzuwandeln. Die Rückführung in den

Gleichstromreaktor 1 kann vorteilhaft bei 28 in Kopfraum 13 und/oder über Injektorlanzen 29 in die Oxidationszone 4 erfolgen.

Bei geringem Kohlendioxidanteil kann das Nachreformiergas alternativ bei 30 dem Synthesegas zur weiteren Verwertung beigemischt werden.

- 5 Die im Nachreformierungsgasfilter 25 abgetrennte Asche wird über ein Austragssystem 31 direkt in geeignete Zwischenbehälter 22 gefördert und der Entsorgung zugeführt.

Nachfolgend wird die Ausgestaltung des Verfahrens unter Beimischung von synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen in den Gleichstromreaktor beschrieben.

- 10 Das erfindungsgemäße Verfahren kann besonders vorteilhaft gestaltet werden, wenn den festen Biomasse-Partikeln synthetische kohlenstoffreiche Substanzen im Gleichstromreaktor 1 eingesetzt werden. Dabei kann es sich beispielsweise um feste kunststoffhaltige Abfallfraktionen handeln, die gegebenenfalls mechanisch zerkleinert und gegebenenfalls kompaktiert werden.

- 15 Im Falle von festen kunststoffhaltigen Abfallfraktionen 32 besteht eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens darin, dass diese den festen Biomasse-Partikeln vor Eintritt in den Gleichstromreaktor kontinuierlich bei 33 beigemischt werden. Alternativ kann die Beimischung auch über ein separates Schleusensystem 34 direkt in den Kopfraum 13 des Gleichstromreaktors 1 erfolgen.

- 20 Die festen Biomasse-Partikeln bieten während des Vergasungsprozesses den Vorteil, dass diese bis zur Erreichung der Oxidationszone 4 formstabil bleiben und dadurch eine Art Reaktionswanderbett für die synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen 32 ausbilden. Dadurch wird Klumpenbildung, beispielsweise bei Verschmelzen von Kunststoffen wirksam verhindert und gleichzeitig ausreichendes Lückenvolumen für eine gute Gasdurchlässigkeit und Gasverteilung gewährleistet.

- 25 Die synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen durchwandern die Reaktionszonen des Gleichstromreaktors 1 parallel zu den festen Biomasse-Partikeln und zeigen ein ähnliches chemisches Verhalten bei der Umwandlung in Synthesegas und feinteilige Oxidationsrückstände.

- 30 Werden beispielsweise heizwertreiche kunststoffhaltige Abfallfraktionen 32 beigemischt, führt dies zu einer signifikanten Erhöhung des Heizwertes des Synthesegases. Somit kann das erfindungsgemäße Verfahren durch die kombinierte Vergasung von festen Biomasse-

Partikeln und heizwertreichen synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen im Gleichstromreaktor 1 eine Technologie bereitstellen, die die Erzeugung eines Synthesegases unter hohem Wirkungsgrad und mit hohem Heizwert erlaubt.

5 Durch das weiter oben beschriebene Regelungskonzept führt die Beimischung von heizwertreichen synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen 32 im Gleichstromreaktor 1 quasi zu einer Zurückdrängung der Vergasung der festen Biomasse-Partikeln 6, sodass sich ein Gleichgewicht je nach Dosierate der heizwertreichen synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen 32 zwischen verbrauchten festen Biomasse-Partikeln 6 und den dosierten synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen 32 einstellt.

10 Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich auch für die Beimischung von flüssigen synthetischen Kohlenstoffreichen Substanzen 35. Dabei kann es sich beispielsweise um organische Flüssigkeiten oder Schmelzen aus thermoplastischen Kunststoffabfällen handeln.

15 Im Falle von organischen Flüssigkeiten 35 besteht eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens darin, dass diese direkt in den Kopfraum 13 des Gleichstromvergasers 1 über Lanzen oder Düsensysteme bei 36 eindosiert werden. Alternativ kann die Beimischung auch über Lanzensysteme bei 37 in die Trocknungszone 2 und/oder bei 38 in die Pyrolysezone 3 und/oder bei 39 in die Oxidationszone 4 erfolgen.

Besonders bevorzugt ist vorgesehen, dass das erfindungsgemäße Verfahren unter Beimischung von abfallstämmigen synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen, 20 beispielsweise Halogenhaltigen Kunststofffraktionen durchgeführt wird. Solche Abfallfraktionen können beispielsweise Anteile von Polyvinylchlorid oder auch Bromhaltige Flammenschutzmittel enthalten. In thermischen Prozessen werden die Halogene im Wesentlichen als Wasserstoffverbindungen freigesetzt. Im vorliegenden Beispiel als Chlorwasserstoff und/oder als Bromwasserstoff. Dabei handelt es sich um saure 25 Spaltprodukte, die potenziell zusammen mit Sauerstoff toxische Dioxine und Furane in der Oxidationszone 4 bilden können. Weiterhin sind solche Komponenten insbesondere bei hohen Temperaturen sehr korrosiv und können zu enormen Schäden an heißen Anlagenteilen führen.

30 Um diese negativen Effekte auszuschließen, ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die parallele Beimischung von basischen Stoffen 40, beispielsweise Calciumoxid und/oder Calciumhydroxid vorgesehen.

Die Beimischung der basischen Stoffe 40 kann direkt in den Dosierstrom der festen Biomasse-Partikeln bei 41 erfolgen. Besonders vorteilhaft ist die Beimischung zum

Dosierstrom der festen synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen bei 42 und oder die Beimischung zu den flüssigen synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen bei 43.

Alternativ können die basischen Stoffe auch in einem separaten Materialstrom in den Gleichstromreaktor über ein Schleusensystem 44 in Kopfraum 13 des Gleichstromreaktors 1
5 eindosiert werden.

Die basischen Stoffe reagieren spontan mit den sauren Spaltprodukten Chlorwasserstoff und/oder Bromwasserstoff unter Bildung von Calciumchlorid bzw. Calciumbromid. Dabei handelt es sich um unkritische Salzverbindungen, die als Bestandteil der feinteiligen Oxidationsrückstände den Prozess durchlaufen und entweder direkt bei 21 oder nach
10 Durchlaufen des Nochreformerprozesses bei 31 aus dem Prozess ausgeschleust werden.

Durch Bindung der Halogene als thermisch beständige Salze erlaubt das erfindungsgemäße Verfahren auch den Einsatz von halogenhaltigen Abfallfraktionen, ohne dass dabei toxische Dioxine und Furane entstehen, oder Hochtemperaturkorrosion zur Schäden an Anlagenteilen führt.

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

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
20 Kombinationen erfindungswesentlich sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Partialoxidation von pyrolytisch erzeugten Spaltprodukten zur Herstellung von Synthesegas (17) in einem mit festen Biomasse-Partikeln (6) durchströmten Gleichstromreaktor (1), **dadurch gekennzeichnet**, dass den festen Biomasse-Partikeln (6) synthetische kohlenstoffreiche Substanzen (32/35) beigemischt werden, wobei die festen Biomasse-Partikel (6) in einer Trocknungszone (2) und in einer nachfolgenden Pyrolysezone (3) als wandernde Reaktionsoberfläche für die pyrolytische Spaltung der synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen (32/35) genutzt werden und der in den festen Biomasse-Partikeln (6) chemisch gebundene Sauerstoff zumindest teilweise als Oxidationsmittel für die Partialoxidation dient, wobei eine zusätzliche Zuführung von sauerstoffhaltigem Gas (7) in eine Oxidationszone (4) erfolgt, wodurch die festen Biomasse-Partikel (6) und/oder die synthetischen, kohlenstoffreichen Substanzen ganz oder teilweise in feinteilige Oxidationsrückstände mit einer derartigen Partikelgröße umgewandelt werden, dass die feinteiligen Oxidationsrückstände aerosolfähig sind.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die in einem einzigen Gleichstromreaktor (1) erzeugte Synthesegasmenge (17) einer thermischen Leistung von 10 bis 2000 kW, bevorzugt einer thermischen Leistung von 10 bis 1000 kW und besonders bevorzugt einer thermischen Leistung von 10 bis 500 kW entspricht.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Synthesegasmenge (17) über die Ansaugmenge einer Synthesegasabzugseinrichtung (15) vorgegeben wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regelung des Massenstroms der festen Biomasse-Partikel (6) in den Gleichstromreaktor (1) über den Füllstand des Gleichstromreaktors (1) erfolgt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dosierung der synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen (32/35) so gesteuert wird, dass sich in einem sich bildenden Gleichgewichtsverhältnis von vergasten festen Biomasse-Partikeln (6) und vergasten synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen (32/35) eine anteilige Vergasung von 20 % bis 80%, bevorzugt von 20% bis 50% und besonders bevorzugt von 20% bis 30% der festen

Biomasse-Partikel (6) bezogen auf den gesamten dosierten Massenanteil von festen Biomasse-Partikeln (6) und synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen (32/35) ergibt.

- 5 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass, die feinteiligen Oxidationsrückstände nach dem Durchwandern einer Reduktionszone (5) als staubförmige Bestandteile zumindest teilweise zusammen mit dem entstehenden Synthesegasstrom bei (11A) als Aerosol ausgetragen werden.
- 10 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass, nicht aerosolfähige Oxidationsrückstände zumindest teilweise über den Boden des Aschebunkers (10) am unteren Ende des Gleichstromreaktors über eine Austragsvorrichtung (11B) ausgetragen werden.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Oxidationsrückstände beim Verlassen der Reduktionszone (5) durch eine bewegte mechanische Trennvorrichtung (9) von grobteiligen Oxidationsrückständen getrennt, und die grobteiligen Oxidationsrückstände bis zu einer ausreichenden prozessbedingten Zerkleinerung in der Reduktionszone (5) zurückgehalten werden.
- 20 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperatur in der Oxidationszone (4) bevorzugt 800 – 1400 Grad Celsius und besonders bevorzugt 1000 – 1300 Grad Celsius beträgt.
- 25 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei den festen Biomasse-Partikeln (6) zumindest teilweise um Holzhackschnitzel und/oder kompaktierte Holzpellets und/oder vorzerkleinerte Althölzer handelt.
- 30 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass es bei den festen Biomasse-Partikeln (6) zumindest teilweise um Olivenkerne, und/oder Palmkernschalen und/oder Kokosnussschalen handelt.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei den synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen (32/35) zumindest teilweise um kunststoffhaltige Feststoffe (32) und/oder um brennbare organische Flüssigkeiten (35) handelt.

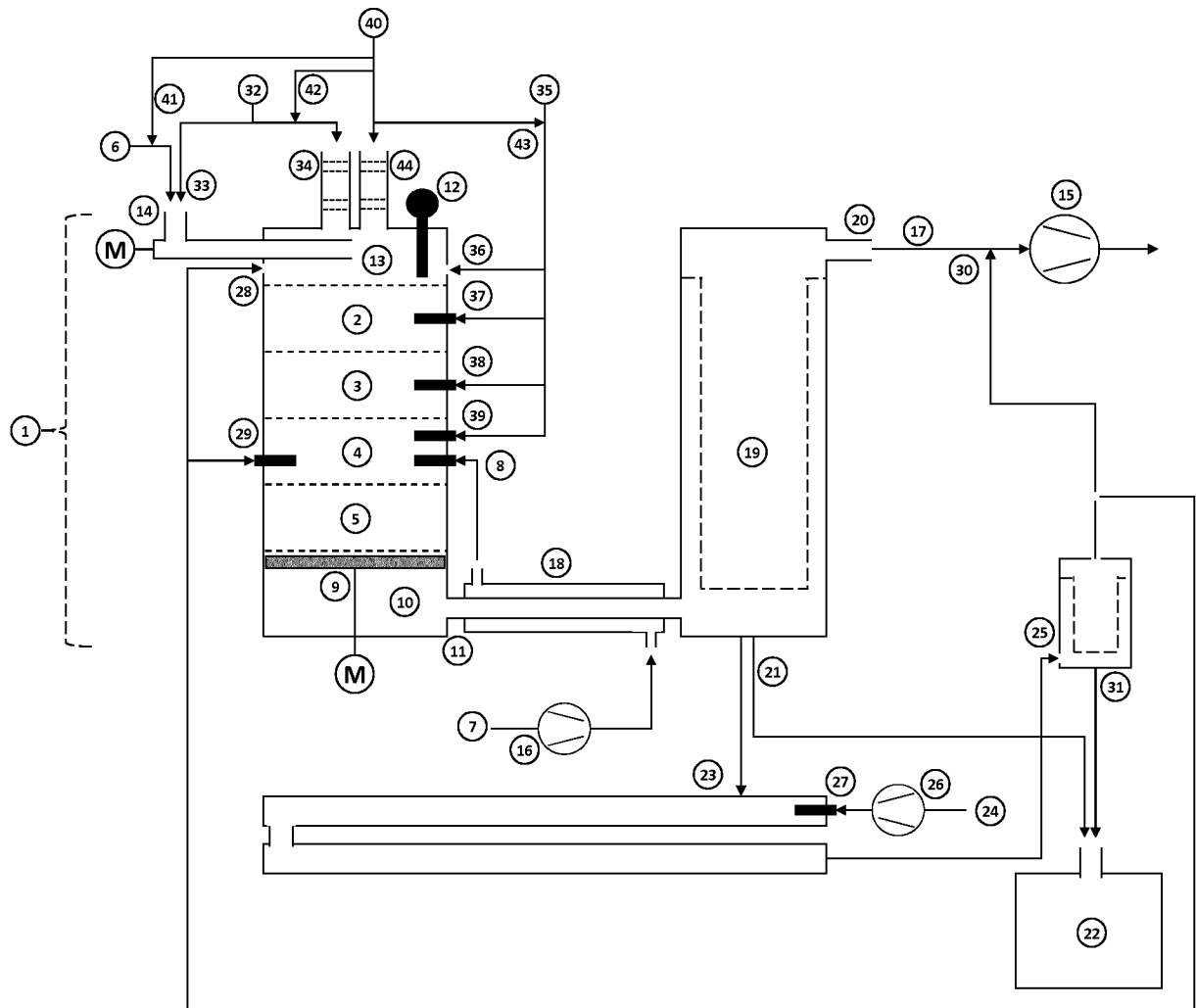
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die kunststoffhaltigen Feststoffe (32) aus Abfallfraktionen bestehen, die direkt im Verfahren eingesetzt, und/oder vor dem Einsatz durch Kompaktierung vorbehandelt werden.
- 5 14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die kunststoffhaltigen Feststoffe (32) zusammen im Gemisch mit den festen Biomasse-Partikeln und/oder ein einem gesonderten Materialstrom dem Gleichstromreaktor zugeführt werden.
15. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die brennbaren organischen Flüssigkeiten (35) in flüssiger Form über die Trocknungszone (2) und/oder über die Pyrolysezone (3) dem Gleichstromreaktor (1) zugeführt werden
- 10 16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen (32/35) einen höheren Heizwert aufweisen als die festen Biomassepartikel (6), sodass der Heizwert des entstehenden Synthesegases (17) höher ist als der eines ohne Beimischung von synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen (32/35) erzeugten Synthesegases.
- 15 17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Gleichstromreaktor (1) parallel basische Stoffe (40) zugeführt werden, die den festen Biomasse-Partikeln (6) und/oder den synthetischen kohlenstoffreichen Substanzen (32/35) zugemischt und/oder in einem separaten Materialstrom in den Gleichstromreaktor (1) eindosiert werden.
- 20 18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei den basischen Stoffen (40) um Oxide und/oder Hydroxide und/oder Carbonate handelt, die als Kationen Alkali- und/oder Erdalkalimetalle aufweisen.
- 25 19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei den basischen Stoffen (40) um Calciumoxid und/oder Calciumhydroxid und/oder Calciumcarbonat handelt.
- 30 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Körnung der basischen Stoffe entsprechend der Partikelgröße der Oxidationsrückstände aerosolfähig ist und/oder die basischen Stoffe eine gröbere Körnung aufweisen und über den Boden des Aschebunkers (10) am unteren Ende des Gleichstromreaktors über eine Austragsvorrichtung (11B) ausgetragen werden.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das staubhaltige Synthesegas abgekühlt und die feinteiligen Oxidationsrückstände und/oder basischen Stoffe aus dem Synthesegas über mechanische Trennmethode abgetrennt werden.
- 5 22. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass die abgetrennten feinteiligen Oxidationsrückstände zumindest teilweise in einem nachgelagerten Schneckenreaktor (23) nachoxidiert und das entstehende Oxidationsgas zumindest teilweise in den Gleichstromreaktor (1) zurückgeführt, und/oder zumindest teilweise dem erzeugten Synthesegas (17) beigemischt wird.
- 10 23. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass die grobkörnigeren basischen Stoffe aufgeschmolzene Aschereste binden und diese mit diesen grobkörnigen basischen Stoffen über die Austragungsvorrichtung (11B) ausgetragen werden.
- 15 24. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei der Synthesegasabzugseinrichtung (15) um einen selbstansaugenden Verbrennungsmotor handelt, in dem das Synthesegas (17) als Treibstoff zur Erzeugung mechanischer Energie und Wärme verwertet wird.
- 20 25. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Synthesegas (17) als Treibstoff in einer Gasturbine zur Erzeugung mechanischer Energie und Wärme verwertet, und/oder zum Antrieb von Wärmekraftmaschinen, die mit internen Sekundärmedien arbeiten, durch indirekte Zuführung seiner Verbrennungswärme verwertet wird.
- 25 26. Verfahren nach Anspruch 24 oder 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erzeugte mechanische Energie in einem oder mehreren Generatoren in elektrischen Strom umgewandelt wird.
- 30 27. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einer Heizwertveränderung des Synthesegases die Drehzahl des selbstansaugenden Verbrennungsmotors durch Erhöhung oder Drosselung der angesaugten Synthesegasmenge und/oder durch Regelung des Gegen-Drehmoments des Generators über die abgenommene Strommenge und/oder durch Zu- oder Abschaltung einzelner von mehreren mechanisch gekoppelten Generatoren erfolgt.

28. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Synthesegas (17) in thermischen Prozessen als Ersatz für fossile Energieträger, und/oder als Rohstoff für chemische Prozesse eingesetzt wird.

5 29. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Synthesegasabzugsvorrichtung als Gasförderungsaggregat ausgestaltet wird, welches vorzugsweise eine Gasmengendurchflussregelungseinrichtung aufweist und mit dem das Synthesegas dem nachgelagerten Verwertungsprozess zugeführt wird.

Fig. 1



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/074408**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****C10J 3/26**(2006.01)i; **C10J 3/40**(2006.01)i; **C10J 3/66**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C10J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2011005136 A1 (MOELLER ROLAND [DE]) 13 January 2011 (2011-01-13) paragraph [0020] - paragraph [0022]; figure 2 paragraph [0038] - paragraph [0039] paragraph [0042] - paragraph [0056]	1-29
X	US 2011094159 A1 (MOELLER ROLAND [DE]) 28 April 2011 (2011-04-28) paragraph [0039] - paragraph [0052]; figure 1	1-29

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 November 2019

Date of mailing of the international search report

27 November 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Iyer-Baldew, A

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/074408

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
US	2011005136	A1	13 January 2011	AU	2008340602	A1	02 July 2009
				BR	PI0821292	A2	16 June 2015
				CA	2710168	A1	02 July 2009
				CN	101903501	A	01 December 2010
				DE	102007062414	A1	02 July 2009
				EP	2231828	A2	29 September 2010
				HK	1148550	A1	17 October 2014
				JP	2011506711	A	03 March 2011
				KR	20100096251	A	01 September 2010
				RU	2010129542	A	27 January 2012
				UA	97305	C2	25 January 2012
				US	2011005136	A1	13 January 2011
				WO	2009080336	A2	02 July 2009
				ZA	201003910	B	23 February 2011
US	2011094159	A1	28 April 2011	AU	2008340650	A1	02 July 2009
				BR	PI0820734	A2	16 June 2015
				CA	2708860	A1	02 July 2009
				CN	101903081	A	01 December 2010
				CY	1113815	T1	27 July 2016
				DE	102007062413	B3	10 September 2009
				DK	2227312	T3	29 October 2012
				EP	2227312	A1	15 September 2010
				ES	2393149	T3	18 December 2012
				HK	1148497	A1	07 August 2015
				HR	P20120848	T1	31 December 2012
				JP	5581217	B2	27 August 2014
				JP	2011508714	A	17 March 2011
				KR	20100113519	A	21 October 2010
				PT	2227312	E	31 October 2012
				RS	52604	B	30 April 2013
				RU	2010129543	A	27 January 2012
				SI	2227312	T1	31 December 2012
				UA	100254	C2	10 December 2012
				US	2011094159	A1	28 April 2011
				WO	2009080297	A1	02 July 2009
				ZA	201003942	B	30 March 2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. C10J3/26 C10J3/40 C10J3/66 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) C10J		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2011/005136 A1 (MOELLER ROLAND [DE]) 13. Januar 2011 (2011-01-13) Absatz [0020] - Absatz [0022]; Abbildung 2 Absatz [0038] - Absatz [0039] Absatz [0042] - Absatz [0056]	1-29
X	US 2011/094159 A1 (MOELLER ROLAND [DE]) 28. April 2011 (2011-04-28) Absatz [0039] - Absatz [0052]; Abbildung 1	1-29
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
15. November 2019		27/11/2019
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Iyer-Baldew, A

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/074408

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2011005136	A1	13-01-2011	AU	2008340602 A1	02-07-2009
			BR	PI0821292 A2	16-06-2015
			CA	2710168 A1	02-07-2009
			CN	101903501 A	01-12-2010
			DE	102007062414 A1	02-07-2009
			EP	2231828 A2	29-09-2010
			HK	1148550 A1	17-10-2014
			JP	2011506711 A	03-03-2011
			KR	20100096251 A	01-09-2010
			RU	2010129542 A	27-01-2012
			UA	97305 C2	25-01-2012
			US	2011005136 A1	13-01-2011
			WO	2009080336 A2	02-07-2009
			ZA	201003910 B	23-02-2011

US 2011094159	A1	28-04-2011	AU	2008340650 A1	02-07-2009
			BR	PI0820734 A2	16-06-2015
			CA	2708860 A1	02-07-2009
			CN	101903081 A	01-12-2010
			CY	1113815 T1	27-07-2016
			DE	102007062413 B3	10-09-2009
			DK	2227312 T3	29-10-2012
			EP	2227312 A1	15-09-2010
			ES	2393149 T3	18-12-2012
			HK	1148497 A1	07-08-2015
			HR	P20120848 T1	31-12-2012
			JP	5581217 B2	27-08-2014
			JP	2011508714 A	17-03-2011
			KR	20100113519 A	21-10-2010
			PT	2227312 E	31-10-2012
			RS	52604 B	30-04-2013
			RU	2010129543 A	27-01-2012
			SI	2227312 T1	31-12-2012
			UA	100254 C2	10-12-2012
			US	2011094159 A1	28-04-2011
			WO	2009080297 A1	02-07-2009
			ZA	201003942 B	30-03-2011
