

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
8. Oktober 2015 (08.10.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/149092 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

C10J 3/48 (2006.01) C10K 3/02 (2006.01)
C10K 3/00 (2006.01) C10B 49/10 (2006.01)
C10J 3/64 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2015/000052

(22) Internationales Anmeldedatum:
2. April 2015 (02.04.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A 254/2014 4. April 2014 (04.04.2014) AT

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder : SEIRLEHNER, Leopold [AT/AT];
Jägerstrasse 18, A-4040 Linz (AT).

(74) Anwalt: KESCHMANN, Marc; Haffner und Keschmann,
Patentanwälte GmbH, Schottengasse 3a, A-1014 Wien
(AT).

(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, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, 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)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING COMBUSTIBLE GAS FROM SOLID FEED MATERIALS
CONTAINING CARBON

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM HERSTELLEN VON BRENNGAS AUS
KOHLENSTOFFHALTIGEN FESTEN EINSATZSTOFFEN

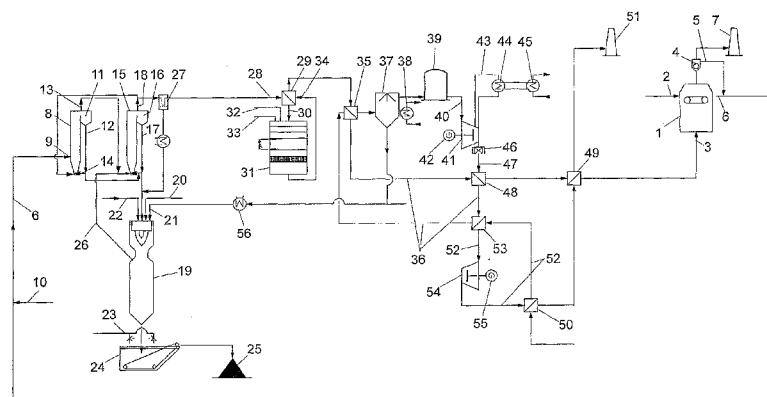


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing combustible gas from solid feed materials containing carbon, comprising the following steps: introducing the feed materials into at least one entrained-flow degasification reactor and at least partially degassing the feed materials, a reaction gas and a solid remainder, in particular conversion coke, thus being produced; removing the solid remainders; introducing at least a partial amount of the remainders into a coal gasification reactor and gasifying the solid remainders, a reaction gas and ash or slag being produced; introducing the reaction gases from the coal gasification reactor into the at least one entrained-flow degasification reactor for the final degassing of the feed materials; introducing at least part of the reaction gases from the at least one entrained-flow degasification reactor into a reforming reactor; and cracking the tar fraction of the reaction gas in the reforming reactor in order to obtain a combustible gas.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/149092 A1



-
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Bei einem Verfahren zum Herstellen von Brenngas aus kohlenstoffhaltigen festen Einsatzstoffen sind folgende Schritte vorgesehen: Aufgeben der Einsatzstoffe in wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor und zumindest teilweises Entgasen der Einsatzstoffe unter Erzeugung eines Reaktionsgases und eines festen Reststoffes, insbesondere Konversionskoks, Austragen der festen Reststoffe, Aufgeben wenigstens einer Teilmenge derselben in einen Kohlevergasungsreaktor und Vergasen der festen Reststoffe unter Erzeugung eines Reaktionsgases und von Asche oder Schlacke, Einleiten der Reaktionsgase aus dem Kohlevergasungsreaktor in den wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor zur finalen Entgasung der Einsatzstoffe, Einleiten wenigstens eines Teils der Reaktionsgase aus dem wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor in einen Reforming-Reaktor und Cracken der Teer-Fraktion des Reaktionsgases im Reforming-Reaktor, um ein Brenngas zu erhalten.

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM HERSTELLEN VON BRENN GAS
AUS KOHLENSTOFFHALTIGEN FESTEN EINSATZSTOFFEN

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von
5 Brenngas aus kohlenstoffhaltigen festen Einsatzstoffen
sowie eine Vorrichtung zum Durchführen eines solchen
Verfahrens.

Unter kohlenstoffhaltigen festen Einsatzstoffen werden im
10 Rahmen der Erfindung Biomasse und/oder kontaminierte,
abfallähnliche organische Stoffe, wie z.B. Klärschlamm,
Kunststoffabfälle und Abfälle aus der Elektroschrott-
Aufbereitung, und sämtliche vergasungsfähige Reststoffe,
verstanden.

15 Zur Erzeugung von elektrischer Energie durch
thermochemische Verarbeitung bzw. Konversion von Biomasse
und/oder kontaminierten, insbesondere organisch oder
anorganisch kontaminierten, Reststoffen, ist eine Reihe von
20 Verfahren bekannt geworden. Das Grundprinzip der
thermochemischen Verarbeitung ist, dass die Einsatzstoffe
bei erhöhter Temperatur (meist einige hundert Grad Celsius)
unter Sauerstoffmangel umgesetzt werden. Auf diese Art und
Weise werden nicht alle organischen Bestandteile unter
25 Freisetzung von Wärme oxidiert, sondern es verbleibt ein
wesentlicher Anteil brennbarer Substanzen wie Wasserstoff
(H₂), Methan (CH₄) und Kohlenmonoxid (CO) im erzeugten Gas.
Das entstehende Brenngas kann energetisch genutzt werden,
z.B. als Kraftstoff in einem Gasmotor, der zur Erzeugung
30 elektrischer Energie mit einem elektrischen Generator
gekoppelt ist.

Eine aus dem Stand der Technik bekannte Möglichkeit der thermochemischen Verarbeitung ist die Konversion von Holz und holzartigen Rest- und Abfallstoffen in Festbett- oder Wirbelschichtvergasern und die Gasnutzung zur Wärme-
5 erzeugung. Die Beschaffenheit und der Heizwert des Reaktionsgases hängen von der Verfahrensführung ab. So erfolgt im Stand der Technik das Konvertieren in einem Festbettvergaser beispielsweise bei niedrigen Temperaturen, um hohe Methangehalte zu erreichen bei ebenso hohem
10 Teeranteil. Weitere bekannte Konversionsverfahren umfassen die luftgeblasene Vergasung von Holz im Pilotmaßstab in einer zirkulierenden Wirbelschicht und die anschließende katalytische Teerspaltung. So kann ein niederkalorisches Brenngas erzeugt werden, das zum Betrieb eines Motoren-
15 Blockheizkraftwerks geeignet ist.

Bei den bekannten Verfahren wurde zur Gewinnung des Brenngases als Konversionsmedium Luft eingesetzt. Durch eine derartige Betriebsweise wird das Brenngas in relativ
20 großem Umfang mit Stickstoff verdünnt, sodass das entstehende Brenngas nur einen geringen Heizwert aufweist und als Schwachgas nur eine geringe elektrische Energieproduktion zulässt.

25 Grundsätzlich kann der Einsatzstoff nicht zur Gänze in Gas umgesetzt werden, sondern es verbleiben auch feste und kondensierbare Reststoffe (Teer-Fraktion), die weiter behandelt werden müssen. Bei den Feststoffen handelt es sich nicht nur um Asche (im Wesentlichen mineralisch),
30 sondern auch um gewisse Mengen von Kohlenstoff, etwa in Form von Koks. Der Restenergiegehalt solcher Stoffe kann durch Verbrennen noch genutzt werden, wobei sich jedoch die Abgasreinigung aufwändig gestaltet.

Ein weiteres Problem bei herkömmlichen Verfahren ist die Behandlung der Teer-Fraktion des Reaktionsgases. Die Teer-Fraktion kann grundsätzlich auskondensiert werden, dies lässt mit derzeitiger Technologie jedoch noch keine stabile Prozessführung zu. Weiters besteht die Möglichkeit die Teer-Fraktion durch Reforming bzw. Cracken in niedrigmolekulare Kohlenwasserstoffe zu transformieren. Dieses Verfahren führt für das Reaktionsgas jedoch oftmals zu einem unerwünschten Abbau der hohen Methanzahl.

Die Erfindung zielt nun darauf ab, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, sodass die oben genannten Nachteile und Probleme zumindest teilweise überwunden und gelöst werden können. Insbesondere soll die Prozesssteuerung erleichtert und die Konversion der Teer-Komponenten zu geeignetem Reaktionsgas verbessert werden. Weiters soll ein leistungsfähiges Brenngas insbesondere für Gas-Ottomotoren erhalten werden.

Zur Lösung dieser Aufgabe umfasst das erfindungsgemäße Verfahren im Wesentlichen die folgenden Schritte:

- Aufgeben der Einsatzstoffe in wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor und zumindest teilweises Entgasen der Einsatzstoffe unter Erzeugung eines Reaktionsgases und eines festen Reststoffes, insbesondere Konversionskoks,
- Austragen der festen Reststoffe, Aufgeben wenigstens einer Teilmenge derselben in einen Kohlevergasungsreaktor und Vergasen der festen Reststoffe unter Erzeugung eines Reaktionsgases und von Asche oder Schlacke,

- Einleiten der Reaktionsgase aus dem Kohlevergasungsreaktor in den wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor,

5 - Einleiten wenigstens eines Teils der Reaktionsgase aus dem wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor in einen Reforming-Reaktor und Cracken der Teer-Fraktion des Reaktionsgases im Reforming-Reaktor, um ein Brenngas zu erhalten.

10 Die Erfindung schlägt somit einen dreistufigen Prozess vor, wobei die erste Stufe den wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor, die zweite Stufe den Kohlevergasungsreaktor und die dritte Stufe den Reforming-Reaktor umfasst.

15

In Flugstromentgasungsreaktoren erfolgt die Entgasung in einem Gasstrom, der mit zerkleinertem Material beladen ist und den Flugstromentgasungsreaktor relativ schnell durchströmt. Dieses Verfahren produziert ein relativ
20 teerarmes Reaktionsgas. Dabei werden die Einsatzstoffe soweit umgesetzt, dass ein so weit wie möglich an flüchtigen Substanzen gasfreier fester Reststoff erhalten wird. Der Austrag der festen Reststoffe aus dem Flugstromentgasungsreaktor erfolgt bevorzugt über einen
25 Grobpartikelabscheider. Der Grobpartikelabscheider ist bevorzugt als Zyklon ausgebildet. Eine Abscheidung von Feinpartikeln kann bevorzugt mittels Keramik-Kerzenfilters erfolgen.

30 Eine Verbesserung der Energiebilanz des Prozesses gelingt insbesondere dadurch, dass das im Kohlevergasungsreaktor gebildete Reaktionsgas in den wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor geleitet wird und dort als

Wärmeträger für das Beheizen des Flugstromentgasungsreaktors dient. Insbesondere gelingt es den Flugstromentgasungsreaktor durch das Reaktionsgas, d.h. durch die im Kohlevergasungsreaktor freigesetzte
5 Reaktionsenergie allotherm zu beheizen.

Weiters wird dadurch erreicht, dass das Reaktionsgas des Kohlevergasungsreaktors und dasjenige des Flugstromentgasungsreaktors gemeinsam den entsprechenden
10 Weiterbehandlungsschritten, wie z.B. einer Reinigung und einem Cracken der Teer-Fraktion, unterzogen werden können, sodass der anlagentechnische Aufwand minimiert wird. Außerdem führt die erfindungsgemäße Verfahrensweise des Rezirkulierens des Reaktionsgases aus der
15 Flugstromentgasung zur automatischen Inertisierung des gesamten Reaktionskreislaufs. Eine Kostenminderung wird vor allem dadurch erzielt, dass keine latente Wärme von außen - z.B. durch Einbringen eines Inertgases - aufgebracht werden muss, sondern statt dessen die aus dem Reaktionsprozess
20 entstandenen Gase zirkuliert werden. Um das Einbringen des Reaktionsgases aus der Kohlevergasung in den Flugstromentgasungsreaktor zu begünstigen, ist der Kohlevergasungsreaktor vorzugsweise direkt mit dem Flugstromentgasungsreaktor verbunden. Eine dichte
25 Ankopplung des Flugstromentgasungsreaktors an den Kohlevergasungsreaktor bietet außerdem die Möglichkeit, im Kohlevergasungsreaktor gebildete Vergasungsprodukte unter überatmosphärischem Druck in den Flugstromentgasungsreaktor rückzuführen, sodass insgesamt eine Betriebsweise unter
30 überatmosphärischem Druck möglich ist.

In der dritten Stufe des Verfahrens werden zum einen die hochmolekularen Kohlenwasserstoffe soweit gespalten, dass

diese schadfrei in einem Gas-Ottomotor verbrannt werden können. Der Schritt des Auskondensierens der Teer-Komponenten kann dadurch umgangen werden.

5 Insgesamt lässt sich mit der erfindungsgemäßen Verfahrensführung ein geschlossenes Konversionssystem verwirklichen, wobei nur eine Abgas-Reinigungslinie für den Konversions-Prozess und den Reforming-Prozess erforderlich ist. Der Großteil der bei dieser Konversion entstandenen
10 Schadstoffe (beispielsweise Schwefelverbindungen und partiell Schwermetalle) kann bei der erfindungsgemäßen Verfahrensführung durch Rückführung und Vergasung im Kohlevergasungsreaktor entsorgt werden und das Reaktionsgas kann mit höherer Reinheit energetisch genutzt, insbesondere
15 zur Verstromung gebracht werden.

Eine besonders vorteilhafte Umsetzung der Einsatzstoffe gelingt gemäß einer bevorzugten Verfahrensführung dadurch, dass die Einsatzstoffe in einen ersten
20 Flugstromentgasungsreaktor aufgegeben und einer ersten Entgasung unterzogen werden und die festen Reststoffe der ersten Entgasung zumindest teilweise einem zweiten Flugstromentgasungsreaktor zugeführt und einer zweiten Entgasung unterworfen werden, wobei die festen Reststoffe
25 der zweiten Entgasung zumindest teilweise dem Kohlevergasungsreaktor aufgegeben und das Reaktionsgas der zweiten Entgasung zumindest teilweise in den Reforming-Reaktor geleitet wird.

30 Im Fall von zwei Flugstromentgasungsreaktoren kann weiters vorgesehen sein, dass das Reaktionsgas aus dem Kohlevergasungsreaktor in den zweiten Flugstromentgasungsreaktor geleitet wird, um Wärmeträger

für das Beheizen des zweiten Flugstromentgasungsreaktors zu dienen. Weiters kann bevorzugt vorgesehen sein, dass das Reaktionsgas der ersten Entgasung, ggf. gemeinsam mit dem Reaktionsgas aus dem Kohlevergasungsreaktor, in den zweiten Flugstromentgasungsreaktor geleitet wird. Das Reaktionsgas der ersten Entgasung wird also mit dem Reaktionsgas aus dem Kohlevergasungsreaktor vereint und in den zweiten Flugstromentgasungsreaktor geleitet. Durch die zweistufige Flugstromentgasung wird die Heizenergie des Reaktionsgases infolge der höheren Entgasung der Einsatzstoffe erhöht. Die Leistungserhöhung der Konversion in den Flugstromentgasungsreaktoren führt hierbei zu einer Verbesserung der Gaszusammensetzung mit Rücksicht auf einen hohen Energiegehalt des Brenngases im Prozessbereich der Gas-Ottomotor-Verstromung. Der theoretische Nachteil einer Erhöhung des Konversionsanteils beim Umsetzen der Einsatzstoffe in den Flugstromentgasungsreaktoren liegt in einem geringeren Energieertrag im Kohlevergasungsreaktor, wird aber durch die Vorteile im nachfolgenden Verstromungsprozess übertroffen.

Besonders bevorzugt wird hierbei so vorgegangen, dass die erste Entgasung bei einer tieferen Temperatur, insbesondere bei 400-450°C, als die zweite Entgasung durchgeführt wird, wobei die Temperatur der zweiten Entgasung bevorzugt 450-600°C beträgt.

Eine bevorzugte Verfahrensführung sieht hierbei vor, dass wenigstens ein Teil der Reaktionsgase aus dem wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor in den wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor rückgeführt wird, insbesondere wenigstens ein Teil der Reaktionsgase aus dem zweiten

Flugstromentagsungsreaktor in den ersten Flugstromentgasungsreaktor rückgeführt wird.

Um die Verweilzeit der Einsatzstoffe in dem wenigstens
5 einen Flugstromentgasungsreaktor einstellen zu können, insbesondere im Hinblick auf eine Maximierung der Konversionsleistung, wird bevorzugt so vorgegangen, dass eine Teilmenge der festen Reststoffe aus der Flugstromentgasung, insbesondere aus der ersten und/oder
10 zweiten Flugstromentgasung, dem Flugstromentgasungsreaktor, insbesondere dem ersten bzw. zweiten Flugstromentgasungsreaktor, rückgeführt wird. Der Rückführungsanteil kann dabei insbesondere so gewählt werden, dass die Einsatzstoffe soweit umgesetzt werden,
15 dass die festen Reststoffe, insbesondere der Konversionskoks, der Flugstromentgasung so weit wie möglich frei von flüchtigen Substanzen sind. Durch die Einstellung der rückgeführten Menge der partiell konvertierten Reststoffe auf bevorzugt 15 bis 25 Gew.-% der gesamt
20 anfallenden Reststoffmenge wird eine entsprechende Umsetzung des Einsatzstoffes gewährleistet und die Heizenergie des Reaktionsgases erhöht.

Eine weitere bevorzugte Verfahrensführung sieht vor, dass
25 das Reaktionsgas aus dem wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor vor dem Einleiten in den Reforming-Reaktor einer Heißgasreinigung unterworfen wird, wobei der in der Heißgasreinigung abgetrennte Staub, ggf. nach einer Vorwärmung, dem Kohlevergasungsreaktor
30 aufgegeben wird.

Um die Vergasungsreaktion im Kohlevergasungsreaktor steuern zu können, wird die Verbrennungsstöchiometrie eingestellt,

wobei dies bevorzugt durch Eindüsen von Sauerstoff und/oder Wasserdampf in den Kohlevergasungsreaktor erfolgt. Vorteilhafterweise kann hierbei Brunnenwasser und/oder kontaminiertes Wasser, wie z.B. kontaminiertes Waschwasser
5 aus einem Wäscher des Prozesses verwendet werden.

Mit Vorteil wird die Vergasungsreaktion im Kohlevergasungsreaktor bei solchen Temperaturen geführt, dass die Reststoffe aus dem Konversionsprozess im
10 Kohlevergasungsreaktor entweder als schwermetallarme bzw. wenig eluierbare Asche ausgetragen (wodurch eine problemlose Deponierung erfolgen kann) oder durch Zugabe von Schlacke bildenden Additiven, insbesondere CaO und SiO₂ zur Weiterverwertung geeignet gemacht werden. Insbesondere
15 können im letzteren Fall die latent hydraulischen Eigenschaften der gebildeten Schlacke so beeinflusst werden, dass diese als Zuschlagstoffe, ähnlich wie bei Hochofenschlacke, z.B. in der Zementindustrie weiterverarbeitet werden können.

20

Wird in diesem Verfahren darauf abgezielt, dass Asche als Rückstandsprodukt erzeugt wird, so sieht eine bevorzugte Weiterbildung des Verfahrens eine Nachverbrennungsstufe in einem Asche-Kühler vor, wo die Asche auf einem Bandförderer
25 in einen Luftstrom gesetzt wird. Dadurch kann der Rest-Kohlenstoffanteil in so hohem Ausmaß nachverbrannt und der Heizwert des Reststoffs dementsprechend so reduziert werden, dass den entsprechenden Bestimmungen für die Deponierung entsprochen wird.

30

Der Kohlevergasungsreaktor ist bevorzugt im Wesentlichen als zweistufiger Vergaser ausgebildet und umfasst einen multifunktionalen Vergasungsbrenner mit angeschlossener

Reaktionskammer. In diesem Brenner sind unterschiedliche Ausformungen implementiert, um verschiedene Brennstoff- und Zuschlagsformen gleichzeitig in die Reaktionskammer einbringen sowie ausreagieren zu können. In vorteilhafter

5 Weise wird der aschebeladene Gasstrom horizontal rotierend in einer vertikalen Strömungsrichtung einer Verjüngung zugeführt, um das je nach Betriebsweise erhaltene Asche- oder Schlacke-Produkt auszuschleusen.

- 10 Das Cracken der Teer-Fraktionen des Reaktionsgases erfolgt bevorzugt in einem induktiv beheizten Festbettreaktor, insbesondere auf glühendem Graphit bei 750-1000°C, vorzugsweise bei 800 bis 900°C, wobei zusätzlich Katalysatoren, z.B. Zeolithe oder aktivierte Mineralien als
- 15 Kalkspate, Dolomite und/oder Kalziumaluminat, im Reforming-Reaktor eingebracht sein können.

Das aus dem Reforming-Reaktor austretende Brenngas weist eine Temperatur von ca. 800-900°C auf, wobei die fühlbare

20 Wärme des Brenngases zum Vorwärmen des in den Reforming-Reaktor einzuleitenden Reaktionsgases genutzt werden kann. Eine bevorzugte Verfahrensführung sieht daher vor, dass das Reaktionsgas aus dem wenigstens einen Flugstromvergasungsreaktor vor dem Einleiten in den

25 Reforming-Reaktor auf Temperaturen von 750-850°C vorgewärmt wird, wobei das Vorwärmen vorzugsweise in einem Wärmetauscher im Wärmeaustausch mit dem aus dem Reforming-Reaktor austretenden Brenngas erfolgt.

- 30 Das aus dem Reforming-Reaktor austretende Brenngas kann zum Zwecke der Zwischenspeicherung zur späteren energetischen Nutzung einem Speicherbehälter, insbesondere einem Gasometer zugeführt werden. Davor ist bevorzugt eine

Gaswäsche vorgesehen, wobei das Waschwasser der Gaswäsche, ggf. nach einer Vorwärmung in einem Wärmetauscher, zur Einstellung der gewünschten Vergasungsbedingungen in den Kohlevergasungsreaktor eingedüst werden kann.

5

Das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Brenngas kann besonders vorteilhaft in einem Gasmotor energetisch verwertet werden. Der Gasmotor ist dabei bevorzugt mit einem elektrischen Generator gekoppelt, sodass eine Verstromung des Brenngases gelingt.

10

Die fühlbare Wärme des aus dem Reforming-Reaktor austretenden Brenngases kann vor dessen Speicherung genutzt werden. Dazu wird bevorzugt so vorgegangen, dass das Brenngas unter Wärmeabgabe an ein Wärmeträgermedium, insbesondere Thermoöl, abgekühlt wird. Der entsprechende Wärmetauscher ist bevorzugt vor der Gaswäsche angeordnet.

15

Alternativ oder zusätzlich besteht die Möglichkeit auch die Restwärme des Abgases des Gasmotors zu nutzen. In diesem Zusammenhang wird bevorzugt so vorgegangen, dass die Abgase des Gasmotors unter Wärmeabgabe an ein Wärmeträgermedium, insbesondere Thermoöl, abgekühlt werden.

20

Das Wärmeträgermedium kann dabei bevorzugt im Kreislauf geführt werden, wobei der Kreislauf wenigstens einen Wärmetauscher zum Erwärmen bzw. Verdampfen des Wärmeträgermediums und wenigstens einen Wärmetauscher zum Abkühlen des Wärmeträgermediums aufweist. Die Erwärmung bzw. Verdampfung des Wärmeträgermediums erfolgt dabei bevorzugt im Wärmeaustausch mit zwei unterschiedlichen Stoffströmen des Prozesses, bevorzugt durch Wärmeaustausch mit dem Brenngas und dem Abgas des Gasmotors.

25

30

Der Kreislauf kann als thermodynamischer Kreisprozess, insbesondere eines ORC-Prozesses ausgebildet sein. Bevorzugt ist der Kreislauf selbst nicht als thermodynamischer Kreisprozess ausgebildet, sondern dient nur als Zwischenwärmespeicher, um die Wärme in der Folge an einen gesonderten thermodynamischen Kreisprozess abzugeben. Das Verfahren ist in diesem Zusammenhang bevorzugt derart weitergebildet, dass das Wärmeträgermedium, insbesondere Thermoöl in einem Wärmetauscher gekühlt wird, um ein Arbeitsmedium eines thermodynamischen Kreisprozesses zu verdampfen. Bevorzugt ist der thermodynamische Kreisprozess als Gasturbinenprozess ausgebildet, sodass in einfacher Art und Weise eine Umwandlung des thermischen Energieinhalts des Wärmeträger- bzw. Arbeitsmediums in mechanische Energie und in weiterer Folge in elektrische Energie gelingt. Um dem niedrigen Temperaturniveau des Arbeitsmediums Rechnung zu tragen, ist eine Ausbildung des thermodynamischen Kreisprozesses als Organic Rankine Cycle besonders bevorzugt. Dieser thermodynamische Kreisprozess zeichnet sich dadurch aus, dass ein anderes Arbeitsmedium als Wasserdampf zum Einsatz gelangt. Das Organic Rankine Cycle (ORC)-Verfahren kommt vor allem dann zum Einsatz, wenn das zur Verfügung stehende Temperaturgefälle zwischen Wärmequelle und -senke zu niedrig für den Betrieb einer von Wasserdampf angetriebenen Turbine ist. Mögliche Arbeitsmedien sind beispielsweise Ammoniak, R12, HFC-245fa, HFC-245ca, R11 oder HFC-236fa oder Gemische davon.

Bevorzugt wird im Rahmen des thermodynamischen Kreisprozesses so vorgegangen werden, dass das Arbeitsmedium des thermodynamischen Kreisprozesses unter Verwendung von Luft gekühlt wird, wobei die erwärmte Luft,

ggf. nach einer weiteren Erwärmung durch Wärmeaustausch mit dem Abgas des Gasmotors, in ein Trocknungsaggregat zum Trocknen der Einsatzstoffe eingeblasen wird. Auf diese Art und Weise kann die Abwärme aus der Kühlung des Arbeitsmediums zum Vortrocknen der Einsatzstoffe genutzt werden.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, umfassend wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor, einen Kohlevergasungsreaktor, dem wenigstens eine Teilmenge der festen Reststoffe aus dem Flugstromentgasungsreaktor zugeführt ist und dessen Reaktionsgase in den wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor geführt sind, und einen Reforming-Reaktor, dem die Reaktionsgase aus dem wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor zugeführt sind und der eine Austragsöffnung für Brenngas aufweist.

Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass ein erster Flugstromentgasungsreaktor und ein zweiter Flugstromentgasungsreaktor vorgesehen sind, die miteinander verbunden sind, sodass zumindest eine Teilmenge der festen Reststoffe aus dem ersten Flugstromentgasungsreaktor dem zweiten Flugstromentgasungsreaktor zuführbar ist, und dass der zweite Flugstromentgasungsreaktor mit dem Kohlevergasungsreaktor verbunden ist, sodass wenigstens eine Teilmenge der festen Reststoffe aus dem zweiten Flugstromentgasungsreaktor dem Kohlevergasungsreaktor zuführbar ist.

30

Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass der erste und/oder der zweite Flugstromentgasungsreaktor eine Rückführungsleitung zum Rezirkulieren einer Teilmenge der

ausgetragenen festen Reststoffe in den jeweiligen Reaktor aufweist.

Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass das
5 Reaktionsgas des ersten Flugstromentgasungsreaktors mit dem Reaktionsgas aus dem Kohlevergasungsreaktor vereint und nachfolgend dem zweiten Flugstromentgasungsreaktor zur finalen Entgasung der Einsatzstoffe zugeführt ist.

10 Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass in der Verbindung zwischen dem wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor und dem Reforming-Reaktor eine Heißgasreinigung angeordnet ist, deren Staubaustrag, ggf. unter Zwischenschaltung eines Vorwärmers, mit dem
15 Kohlevergasungsreaktor in Verbindung steht.

Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass der Reforming-Reaktor eine Induktionsheizung, insbesondere Graphit-Induktionsheizung, und Katalysatoren, wie z.B.
20 Zeolith oder aktivierte Mineralien als Kalkspate, Dolomite und/oder Kalziumaluminate, umfasst.

Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass in der Verbindung zwischen dem wenigstens einen
25 Flugstromvergasungsreaktor und dem Reforming-Reaktor ein Wärmetauscher zum Vorwärmen des Reaktionsgases angeordnet ist.

Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass ein Gasmotor
30 vorgesehen ist, dem das Brenngas zugeführt ist.

Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass ein Kreislauf für ein Wärmeträgermedium, insbesondere Thermoöl,

vorgesehen ist, der wenigstens einen Wärmetauscher zum Aufwärmen des Wärmeträgermediums und wenigstens einen Wärmetauscher zum Abkühlen des Wärmeträgermediums umfasst.

5 Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass wenigstens ein Wärmetauscher zum Aufwärmen des Wärmeträgermediums mittels der Abgase des Gasmotors unter Wärmeabgabe an das Wärmeträgermedium ausgeführt ist.

10 Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass der wenigstens eine Wärmetauscher zum Aufwärmen des Wärmeträgermediums mittels des Brenngases unter Wärmeabgabe an das Wärmeträgermedium ausgebildet ist.

15 Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass der Kreislauf als thermodynamischer Kreisprozess, insbesondere ORC-Prozess, ausgebildet ist.

Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass der
20 wenigstens eine Wärmetauscher zum Abkühlen des Wärmeträgermediums mittels eines Arbeitsmediums eines thermodynamischen Kreisprozesses, insbesondere eines ORC-Prozesses, unter Wärmeabgabe an das Arbeitsmedium zum Verdampfen desselben ausgebildet ist.

25

Eine bevorzugte Weiterbildung sieht vor, dass der thermodynamische Kreisprozess einen Wärmetauscher zum Abkühlen des Arbeitsmediums aufweist, der von Luft als Kühlmittel durchströmbar ist, wobei die erwärmte Luft, ggf.
30 nach einer weiteren Erwärmung durch Wärmeaustausch mit dem Abgas des Gasmotors, einem Trocknungsaggregat zum Trocknen der Einsatzstoffe zugeführt ist.

Die Erfindung wird nachfolgend an Hand von in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. In dieser zeigt Fig. 1 ein Fließbild mit Schlacke-Austrag einer ersten Ausführung der Erfindung und
5 Fig. 2 ein Fließbild mit Asche-Austrag einer zweiten Ausführung der Erfindung.

In Fig. 1 ist mit 1 ein Trocknungsaggregat für die zu verarbeitenden Einsatzstoffe bezeichnet. Als Einsatzstoffe
10 können Biomasse und/oder kontaminierte, abfallähnliche organische Stoffe, wie z.B. Klärschlamm, Kunststoffabfälle und/oder Abfälle aus der Elektroschrott-Aufbereitung, und generell sämtliche konversionsfähige Reststoffe verwendet werden. Die Einsatzstoffe werden dem Trocknungsaggregat 1
15 bei 2 aufgegeben. Zum Trocken wird vorgewärmte Luft 3 verwendet, wie weiter unten noch näher erläutert wird. Die feuchte Abluft aus dem Trockner 1 wird einer Entstaubung 4 zugeführt, wobei der abgetrennte Feststoffanteil 5 den getrockneten Einsatzstoffen 6 zugegeben wird und die Abluft
20 über einen Kamin 7 in die Atmosphäre emittiert wird.

Die getrockneten Einsatzstoffe 6 mit einer Restfeuchte von ~ 20% werden dem ersten Flugstromentgasungsreaktor 8 über eine Öffnung 9 im Fußbereich zugeführt. Im Anfahrbetrieb
25 kann den getrockneten Einsatzstoffen 6 Inertgas 10 zugegeben werden. Im ersten Flugstromentgasungsreaktor 8 erfolgt eine Entgasung der Einsatzstoffe, um ein Reaktionsgas und feste Reststoffe zu erhalten. Die festen Reststoffe werden in einem Grobpartikelabscheider 11
30 abgeschieden und bei 12 ausgetragen. Das von Grobpartikeln befreite Reaktionsgas wird bei 13 abgezogen. Ein Teil der ausgetragenen Reststoffe wird dem ersten Flugstromentgasungsreaktor 8 bei 14 rückgeführt. Der nicht

rückgeführte Anteil wird dem zweiten Flugstromentgasungsreaktor 15 zur weiteren Entgasung aufgegeben. Der zweite Flugstromentgasungsreaktor 15 ist im Wesentlichen gleich ausgebildet wie der erste 5 Flugstromentgasungsreaktor 8. Es ist wieder ein Grobpartikelabscheider 16 vorgesehen, wobei die abgeschiedenen Reststoffe bei 17 ausgetragen werden. Das von Grobpartikeln befreite Reaktionsgas wird bei 18 abgezogen. Ein Teil der ausgetragenen Reststoffe wird dem 10 zweiten Flugstromentgasungsreaktor 15 rückgeführt. Der nicht rückgeführte Anteil wird dem Kohlevergasungsreaktor 19 aufgegeben.

Zur Einstellung der Verbrennungsstöchiometrie im 15 Kohlevergasungsreaktor 19 wird bei 20 Sauerstoff und bei 21 Wasserdampf zugeführt. Je nach Betriebsweise werden bei 22 Zuschlagstoffe aufgegeben, um Schlacke oder Asche als Reststoff zu erhalten. Bei der Schlacke-Betriebsweise (Fig. 1) werden im Kohlevergasungsreaktor 19 die Prozessparameter 20 so gewählt, dass eine Schlackenbasizität von 0,8 bis 1,2 erreicht wird mit vorzugsweise CaO und SiO₂ als Zuschlagstoff, ähnlich wie beim Hochofenprozess, sodass die latent-hydraulischen Eigenschaften ein dermaßen günstiges Ausmaß annehmen und eine Verglasung der mineralischen 25 Fraktion so einsetzt, um als Zementzuschlagstoff geeignet zu sein. Die gebildeten Schlackepartikel werden bei 23 mittels Granulierwasser abgekühlt, um von der kristallinen in die amorphe Phase übergeführt zu werden. In der Granuliertvorrichtung 24 wird die gewünschte Kornausformung 30 eingestellt und nach 25 ausgetragen.

Die aus der Vergasung im Kohlevergasungsreaktor 19 gebildete Prozesswärme wird mit dem Reaktionsgas über 26 in

den zweiten Flugstromentgasungsreaktor 15 geleitet, um die Aufbringung der nötigen Wärme zur Entgasung sicherzustellen.

- 5 Das bei 13 aus dem ersten Flugstromentgasungsreaktor 8 ausgebrachte Reaktionsgas wird mit dem Reaktionsgas 26 aus dem Kohlevergasungsreaktor 19 vereint und dem zweiten Flugstromentgasungsreaktor 15 zugeführt.
- 10 Das bei 18 aus dem zweiten Flugstromentgasungsreaktor 15 ausgebrachte Reaktionsgas wird zum Großteil in den ersten Flugstromentgasungsreaktor 8 zur teilweisen Entgasung der eingebrachten Ströme 6 und 14 geleitet.
- 15 Der nicht in den Flugstromentgasungsreaktor 8 rückgeführte Teil von 18 aus den Flugstromentgasungsreaktor 15 wird einer Heißgasreinigung 27 unterworfen, wobei der Feinstaubaustrag aus der Heißgasreinigung 27 den aus dem zweiten Flugstromentgasungsreaktor 15 ausgetragenen
- 20 Reststoffen beigemischt und in den Kohlevergasungsreaktor 19 zur partiellen Oxidation eingeblasen wird. Die Heißgasreinigung 27 ist bevorzugt eine Heißgasfiltration.

Das in der Heißgasreinigung 27 gereinigte Reaktionsgas wird

25 bei 28 einem Wärmetauscher 29 zugeführt und dort auf 750 bis 850°C aufgeheizt. Das erwärmte Reaktionsgas wird bei 30 in den Reforming-Reaktor 31 eingeblasen, in dem die polyzyklischen Aromaten und hochmolekularen Kohlenwasserstoffe zu kurzkettigen Kohlenwasserstoffen

30 nahezu quantitativ abgebaut werden. Hier kann in einer Oxidations-Zone Sauerstoff bei 32 und Wasserdampf bei 33 eingeblasen und mit dem Reaktionsgas homogen vermischt werden. Anschließend wird das Reaktionsgas im Reforming-

Reaktor 31 durch eine Graphit-Induktionsheizung bei konstanten Reaktionsbedingungen, vorzugsweise bei 900°C, und Katalysatoren, wie z.B. Zeolithe oder aktivierte Mineralien als Kalkspate, Dolomite und Kalziumaluminat, 5 gecrackt. Das aus dem Reforming-Reaktor 31 austretende Brenngas wird bei 34 in den Wärmetauscher 29 eingespeist, um das ungecrackte Reaktionsgas vorzuwärmen. Das Brenngas durchströmt in weiterer Folge den Wärmetauscher 35, um ein in einem Kreislauf 36 laufendes Thermoöl vorzuwärmen. Das 10 Brenngas wird danach einem Gaswäscher 37 zugeführt, in dem das Brenngas von Rest-Verunreinigungen befreit und durch den integrierten Wärmetauscher 38 auf die nötige Temperatur abgekühlt wird, um dieses im Gasometer 39 speichern zu können.

15

Aus dem Gasometer 39 wird das Brenngas bei 40 in den Gas-Ottomotor 41 eingebracht und energetisch verwertet. Der an den Gas-Ottomotor 41 gekoppelte Generator 42 transformiert die produzierte mechanische Energie in elektrische Energie. 20 Aus dem Kühlwasserkreislauf 43 des Gas-Ottomotor 41 wird bei 44 Wärme ausgekoppelt und bei 45 zum Beispiel in ein Nah- oder Fernwärmenetz eingespeist bzw. für anderweitige exergetische Prozessführungen herangezogen.

25 Das aus der energetischen Verwertung im Gas-Ottomotor 41 generierte Abgas wird mittels selektiver katalytischer NO_x-Reduktion 46 gereinigt und tritt bei 47 in einen Wärmetauscher 48 ein, der das im Kreislauf 36 laufende, im Wärmetauscher 35 bereits vorgewärmte Thermoöl weiter 30 aufheizt. Die Restwärme des Abgases wird im Wärmetauscher 49 genutzt, um die vom Wärmetauscher 50 kommende, vorgewärmte Trockenluft auf die notwendige

Prozesstemperatur aufzuwärmen. Über den Kamin 51 wird das Abgas in die Atmosphäre emittiert.

Der Kreislauf eines ORC-Prozesses (Organic Rankine Cycle) ist mit 52 bezeichnet. Das Arbeitsmedium des ORC-Prozesses tritt in den als Wärmetauscher ausgebildeten Verdampfer 53 ein und wird im Wärmeaustausch mit dem im Kreislauf 36 laufenden Thermoöl verdampft, wobei das abgekühlte Thermoöl im Wärmetauscher 35 wieder vorgewärmt wird und das verdampfte Arbeitsmedium in die ORC-Turbine 54 eintritt. Die mechanische Energie aus der ORC-Turbine 54 wird im Generator 55 zu elektrischer Energie transformiert und die Abwärme des expandierten Arbeitsmediums wird in den Wärmetauscher 50 eingebracht, um die Trockenluft für das Trocknungsaggregat 1 vorzuwärmen.

Vorteilhafterweise wird in diesem Verfahren neben Brunnenwasser das kontaminierte Waschwasser aus dem Gaswäscher 37 für den Wasser- bzw. Sattdampfbedarf des Kohlevergasungsreaktors 19 herangezogen, das im Wärmetauscher 56 vorgewärmt wird.

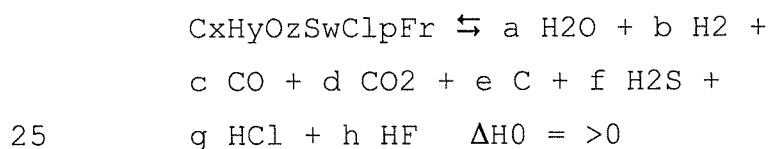
Die Ausführung gemäß Fig. 2 unterscheidet sich von der Ausführung gemäß Fig. 1 dadurch, dass der Austrag aus dem Kohlevergasungsreaktor für einen Asche-Austrag statt eines Schlacke-Austrags ausgebildet ist. Die übrigen Prozess- und Anlagenteile entsprechen denen aus Fig. 1, sodass die Bezugszeichen aus Fig. 1 beibehalten wurden. Die Asche wird im Kohlevergasungsreaktor 19 unter Eindüsung von Wasser- bzw. Sattdampf bei 21 und Sauerstoff bei 20 gebildet und nach 23 in einen Umluft-Aschekühler 57 ausgetragen. Im Speziellen wird in diesem Prozessabschnitt ein Luftstrom so über die Asche geführt, dass eine Nachverbrennung des Rest-

Kohlenstoff-Gehalts in der Asche stattfindet. Die kalte Asche wird zur weiteren Verfrachtung bei 60 zwischenzeitlich deponiert. Von der heißen Asche wird mittels Frischluft (Eintritt bei 58) die Restwärme mittels
5 eines Bandförder-Wärmetauschers 59 abgezogen und zum Vorwärmen des Prozesswassers aus dem Gaswäscher 37 in den Wärmetauscher 56 eingespeist. Die staubbeladene Luft wird einer Gasreinigung 61 zugeführt, um die Luft zum Entlassen in die Atmosphäre über den Kamin 51 aufzubereiten. Die in
10 der Gasreinigung 61 abgeschiedene Asche wird in einem Behälter 62 zur Zwischendeponierung in 60 vorbereitet.

Im Folgenden werden die Umsetzungsvorgänge in den drei Stufen des erfindungsgemäßen Verfahrens und die jeweiligen
15 Enthalpiedifferenzen näher erläutert.

1. Stufe: Flugstromentgasungsreaktor

Hier werden die flüchtigen Bestandteile der Einsatzstoffe
20 vom festen Reststoff (insbesondere Konversionskoks) abgetrennt und zur weiteren Verarbeitung in die jeweilige Prozessstufe überführt.



2. Stufe: Kohlevergasungsreaktor

Im Kohlevergasungsreaktor wird der verbleibende
30 Energieinhalt des Konversionskokes in einem Hochtemperatur-Prozess zu thermischer Energie umgesetzt, um die nötige Wärme für die prozessinternen Arbeitsschritte aufbringen zu können. In diesem Arbeitsschritt wird als

Reststoff je nach Bedarf Asche oder Schlacke in einem Trocken- oder Nassgranulationsverfahren produziert.

1. $2 \text{ C(s)} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{ CO} \quad \Delta H_0 = -110,5 \text{ kJ.mol}^{-1}$
- 5 2. $\text{C(s)} + 2 \text{ H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_4$
(heterogene Methanbildungs-R.) $\Delta H_0 = -87,5 \text{ kJ.mol}^{-1}$
3. $\text{C(s)} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2$
(heterogene Wassergas-R.) $\Delta H_0 = +131,3 \text{ kJ.mol}^{-1}$
4. $\text{C(s)} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2 \text{ CO}$
10 (Boudouard-Gleichgewicht) $\Delta H_0 = +172,4 \text{ kJ.mol}^{-1}$
5. $\text{C(s)} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2 \quad \Delta H_0 = -393,5 \text{ kJ.mol}^{-1}$
6. $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$
(Wassergas-Shift-Reaktion) $\Delta H_0 = -41,2 \text{ kJ.mol}^{-1}$

15 3. Stufe: Reforming-Reaktor

Hier werden die hochverzweigten kondensierten Kohlenwasserstoffe des gewonnenen Reaktionsgases in einem Methanisierungsprozess bestmöglich zu verstrombarem
20 Prozessgas gecrackt, das in einem Otto-Gasmotor mit gekoppeltem Generator zu elektrischer Energie umgesetzt werden kann.

1. $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$
25 (Wassergas-Shift-Reaktion) $\Delta H_0 = -41,2 \text{ kJ.mol}^{-1}$
2. $\text{CO} + 3 \text{ H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$
(Methanisierung) $\Delta H_0 = -206,2 \text{ kJ.mol}^{-1}$
3. $\text{C}_n\text{H}_m\text{O}_p \rightleftharpoons r \text{ CO} + s \text{ H}_2 + t \text{ C}_x\text{H}_y \quad \Delta H_0 = > 0 \text{ kJ.mol}^{-1}$

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Herstellen von Brenngas aus kohlenstoffhaltigen festen Einsatzstoffen umfassend die

5 Schritte:

- Aufgeben der Einsatzstoffe in wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor und zumindest teilweises Entgasen der Einsatzstoffe unter Erzeugung eines Reaktionsgases und eines festen Reststoffes, insbesondere

10 Konversionskoks,

- Austragen der festen Reststoffe, Aufgeben wenigstens einer Teilmenge derselben in einen Kohlevergasungsreaktor und Vergasen der festen Reststoffe unter Erzeugung eines Reaktionsgases und von Asche oder Schlacke,

15 - Einleiten der Reaktionsgase aus dem Kohlevergasungsreaktor in den wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor,

- Einleiten wenigstens eines Teils der Reaktionsgase aus dem wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor in einen

20 Reforming-Reaktor und Cracken der Teer-Fraktion des Reaktionsgases im Reforming-Reaktor, um ein Brenngas zu erhalten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

25 dass die Einsatzstoffe in einen ersten Flugstromentgasungsreaktor aufgegeben und einer ersten Entgasung unterzogen werden und die festen Reststoffe der ersten Entgasung zumindest teilweise einem zweiten Flugstromentgasungsreaktor zugeführt und einer zweiten

30 Entgasung unterworfen werden, wobei die festen Reststoffe der zweiten Entgasung zumindest teilweise dem Kohlevergasungsreaktor aufgegeben und das Reaktionsgas der

zweiten Entgasung zumindest teilweise in den Reforming-Reaktor geleitet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,
5 dass das Reaktionsgas aus dem Kohlevergasungsreaktor in den zweiten Flugstromentgasungsreaktor geleitet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch
gekennzeichnet, dass das Reaktionsgas der ersten Entgasung,
10 ggf. gemeinsam mit dem Reaktionsgas aus dem Kohlevergasungsreaktor, in den zweiten Flugstromentgasungsreaktor geleitet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 2, 3 oder 4, dadurch
15 gekennzeichnet, dass die erste Entgasung bei einer Temperatur von 400-450°C und die zweite Entgasung bei einer Temperatur von 450-600°C durchgeführt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch
20 gekennzeichnet, dass wenigstens ein Teil der Reaktionsgase aus dem wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor in den wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor rückgeführt wird, insbesondere wenigstens ein Teil der Reaktionsgase aus dem zweiten Flugstromentgasungsreaktor in den ersten
25 Flugstromentgasungsreaktor rückgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch
gekennzeichnet, dass eine Teilmenge der festen Reststoffe aus der Flugstromentgasung, insbesondere aus der ersten
30 und/oder zweiten Flugstromentgasung, dem Flugstromentgasungsreaktor, insbesondere dem ersten bzw. zweiten Flugstromentgasungsreaktor, rückgeführt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Reaktionsgas aus dem wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor vor dem Einleiten in den Reforming-Reaktor einer Heißgasreinigung unterworfen wird, wobei der in der Heißgasreinigung abgetrennte Staub, ggf. nach einer Vorwärmung, dem Kohlevergasungsreaktor aufgegeben wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zur Einstellung der Verbrennungsstöchiometrie Sauerstoff und/oder Wasserdampf in den Kohlevergasungsreaktor eingedüst wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass dem Kohlevergasungsreaktor Zuschlagsstoffe, insbesondere CaO- und/oder SiO₂-haltige Zuschlagsstoffe aufgegeben werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Cracken im Reforming-Reaktor bei Temperaturen von 750-1000°C, vorzugsweise unter Verwendung einer Induktionsheizung, insbesondere Graphit-Induktionsheizung, und unter Verwendung von Katalysatoren, wie z.B. Zeolith oder aktivierte Mineralien als Kalkspate, Dolomite und/oder Kalziumaluminate vorgenommen wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Reaktionsgas aus dem wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor vor dem Einleiten in den Reforming-Reaktor auf Temperaturen von 750-850°C vorgewärmt wird, wobei das Vorwärmen vorzugsweise in einem Wärmetauscher im Wärmeaustausch mit dem aus dem Reforming-Reaktor austretenden Brenngas erfolgt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Brenngas in einem Gasmotor energetisch verwertet wird.

5

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Brenngas aus dem Reforming-Reaktor unter Wärmeabgabe an ein Wärmeträgermedium, insbesondere Thermoöl, abgekühlt wird.

10

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgase des Gasmotors unter Wärmeabgabe an ein Wärmeträgermedium, insbesondere Thermoöl, abgekühlt werden.

15 16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Wärmeträgermedium ein Arbeitsmedium eines thermodynamischen Kreisprozesses, insbesondere eines ORC-Prozesses ist.

20 17. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Wärmeträgermedium, insbesondere Thermoöl in einem Wärmetauscher gekühlt wird, um ein Arbeitsmedium eines thermodynamischen Kreisprozesses, insbesondere eines ORC-Prozesses, zu verdampfen.

25

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Arbeitsmedium des thermodynamischen Kreisprozesses unter Verwendung von Luft gekühlt wird, wobei die erwärmte Luft, ggf. nach einer
30 weiteren Erwärmung durch Wärmeaustausch mit dem Abgas des Gasmotors, in ein Trocknungsaggregat zum Trocknen der Einsatzstoffe eingeblasen wird.

19. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18, umfassend wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor, einen Kohlevergasungsreaktor, dem wenigstens eine Teilmenge der festen Reststoffe aus dem
5 Flugstromentgasungsreaktor zugeführt ist und dessen Reaktionsgase in den wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor geführt sind, und einen Reforming-Reaktor, dem die Reaktionsgase aus dem wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor zugeführt sind und der
10 eine Austragsöffnung für Brenngas aufweist.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass ein erster Flugstromentgasungsreaktor und ein zweiter Flugstromentgasungsreaktor vorgesehen sind, die miteinander
15 verbunden sind, sodass zumindest eine Teilmenge der festen Reststoffe aus dem ersten Flugstromentgasungsreaktor dem zweiten Flugstromentgasungsreaktor zuführbar ist, und dass der zweite Flugstromentgasungsreaktor mit dem Kohlevergasungsreaktor verbunden ist, sodass wenigstens
20 eine Teilmenge der festen Reststoffe aus dem zweiten Flugstromentgasungsreaktor dem Kohlevergasungsreaktor zuführbar ist.

21. Vorrichtung nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und/oder der zweite
25 Flugstromentgasungsreaktor eine Rückführungsleitung zum Rezirkulieren einer Teilmenge der ausgetragenen festen Reststoffe in den jeweiligen Reaktor aufweist.

30 22. Vorrichtung nach Anspruch 19, 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, dass in der Verbindung zwischen dem wenigstens einen Flugstromentgasungsreaktor und dem Reforming-Reaktor eine Heißgasreinigung angeordnet ist,

deren Staubaustrag, ggf. unter Zwischenschaltung eines Vorwärmers, mit dem Kohlevergasungsreaktor in Verbindung steht.

5 23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Reforming-Reaktor eine Induktionsheizung, insbesondere Graphit-Induktionsheizung, und Katalysatoren, wie z.B. Zeolith oder aktivierte Mineralien als Kalkspate, Dolomite und/oder
10 Kalziumaluminate, umfasst.

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass in der Verbindung zwischen dem wenigstens einen Flugstromvergasungsreaktor und dem
15 Reforming-Reaktor ein Wärmetauscher zum Vorwärmen des Reaktionsgases angeordnet ist.

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass ein Gasmotor vorgesehen ist,
20 dem das Brenngas zugeführt ist.

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kreislauf für ein Wärmeträgermedium, insbesondere Thermoöl, vorgesehen ist,
25 der wenigstens einen Wärmetauscher zum Aufwärmen des Wärmeträgermediums und wenigstens einen Wärmetauscher zum Abkühlen des Wärmeträgermediums umfasst.

27. Vorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet,
30 dass der wenigstens eine Wärmetauscher zum Aufwärmen des Wärmeträgermediums mittels der Abgase des Gasmotors unter Wärmeabgabe an das Wärmeträgermedium ausgebildet ist.

28. Vorrichtung nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Wärmetauscher zum Aufwärmen des Wärmeträgermediums mittels des Brenngases unter Wärmeabgabe an das Wärmeträgermedium ausgebildet ist.

5

29. Vorrichtung nach Anspruch 26, 27 oder 28, dadurch gekennzeichnet, dass der Kreislauf als thermodynamischer Kreisprozess, insbesondere ORC-Prozess, ausgebildet ist.

10 30. Vorrichtung nach Anspruch 26, 27 oder 28 dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Wärmetauscher zum Abkühlen des Wärmeträgermediums mittels eines Arbeitsmediums eines thermodynamischen Kreisprozesses, insbesondere eines ORC-Prozesses, unter Wärmeabgabe an das
15 Arbeitsmedium zum Verdampfen desselben ausgebildet ist.

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass der thermodynamische Kreisprozess einen Wärmetauscher zum Abkühlen des
20 Arbeitsmediums aufweist, der von Luft als Kühlmittel durchströmbar ist, wobei die erwärmte Luft, ggf. nach einer weiteren Erwärmung durch Wärmeaustausch mit dem Abgas des Gasmotors, einem Trocknungsaggregat zum Trocknen der Einsatzstoffe zugeführt ist.

25

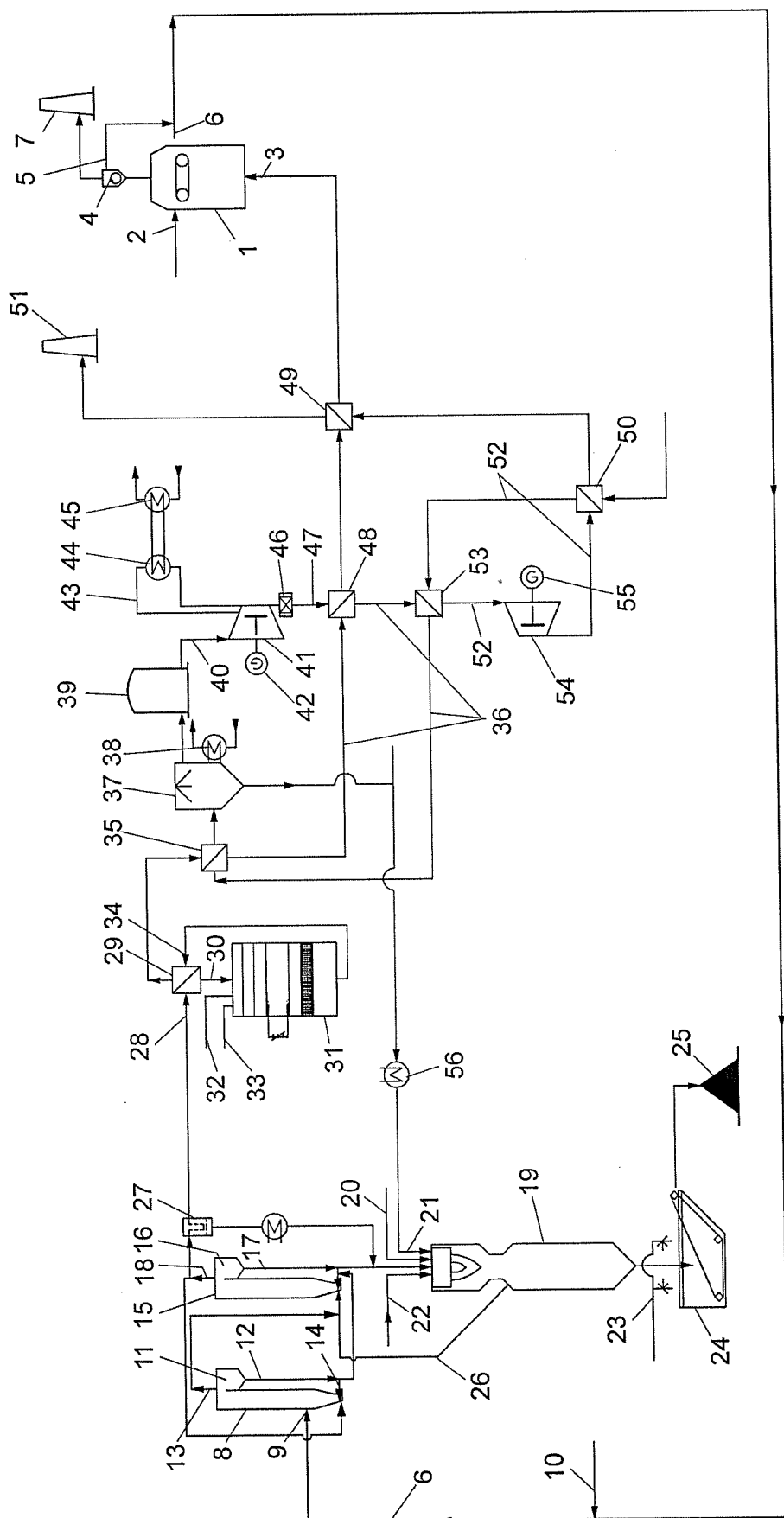


Fig. 1

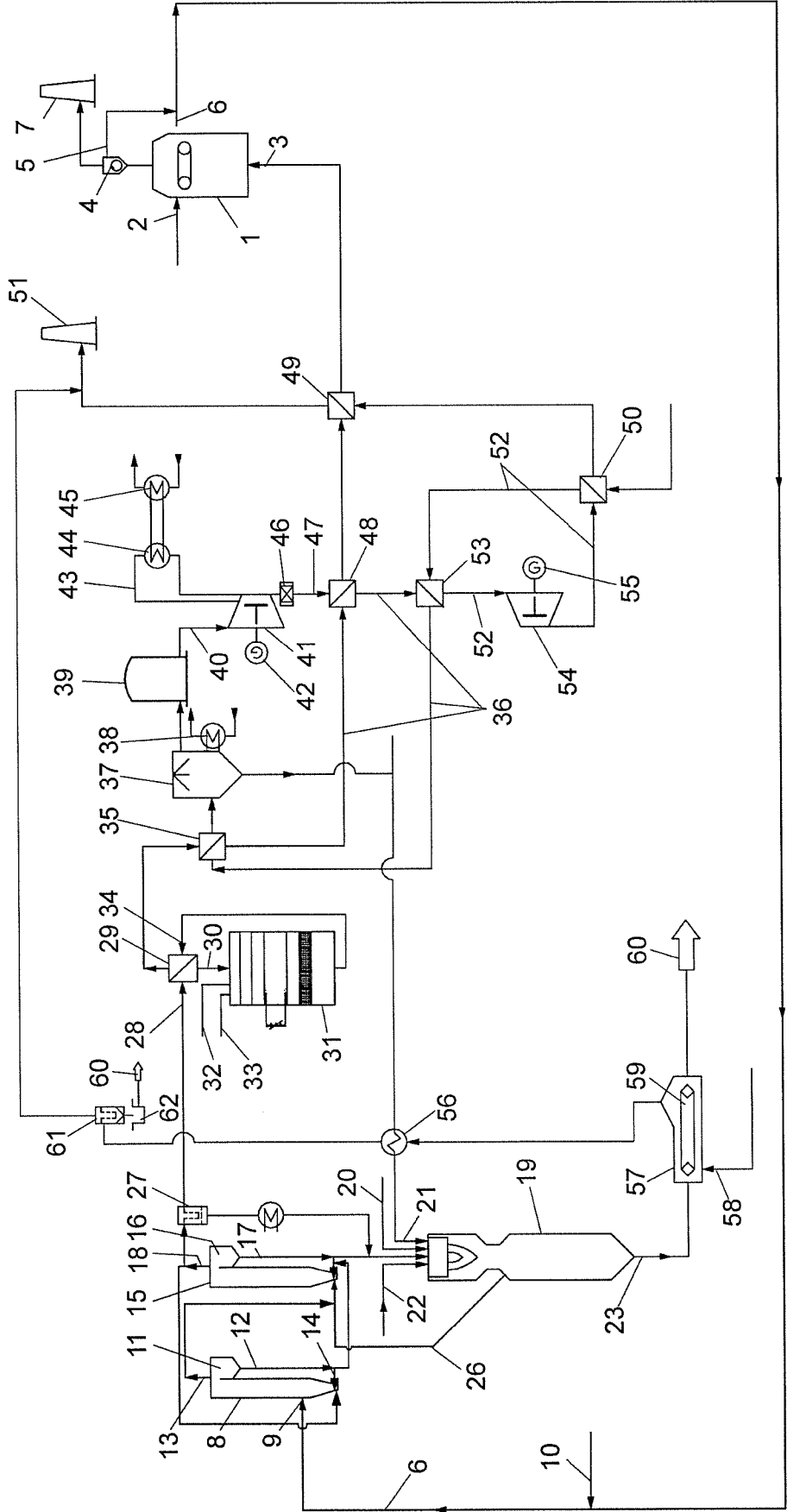


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/AT2015/000052

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. C10J3/48 C10K3/00 C10J3/64 C10K3/02 C10B49/10 ADD.		
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 C10K		
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	WO 01/02513 A1 (HERHOF UMWELTECHNIK GMBH [DE]; KRUMM WOLFGANG [DE]; FUNK GUENTER [DE]) 11 January 2001 (2001-01-11) page 7, paragraph 7 - page 10, paragraph 1; figures 1, 2 page 11, paragraph 2 - page 11, paragraph 2 -----	1-31
A	DE 10 2008 014799 A1 (TETZLAFF KARL-HEINZ [DE]) 24 September 2009 (2009-09-24) the whole document -----	1-31
A	WO 03/033624 A1 (KARLSRUHE FORSCHZENT [DE]; HENRICH EDMUND [DE]; DINJUS ECKHARD [DE]; M) 24 April 2003 (2003-04-24) the whole document -----	1-31
☐ 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 18 August 2015		Date of mailing of the international search report 24/08/2015
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Iyer-Baldew, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/AT2015/000052

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0102513	A1	11-01-2001	AT 453700 T 15-01-2010
			AU 773356 B2 20-05-2004
			AU 6688400 A 22-01-2001
			BG 64909 B1 31-08-2006
			BG 106266 A 30-08-2002
			BR 0012061 A 19-03-2002
			CA 2377774 A1 11-01-2001
			CN 1358220 A 10-07-2002
			CY 1109873 T1 10-09-2014
			CZ 20014724 A3 11-09-2002
			DE 19930071 A1 22-02-2001
			DK 1192234 T3 12-04-2010
			EE 200100712 A 15-04-2003
			EP 1192234 A1 03-04-2002
			ES 2337442 T3 26-04-2010
			HR P20010931 A2 30-04-2003
			HU 0201894 A2 28-09-2002
			IL 147311 A 15-12-2004
			JP 4713036 B2 29-06-2011
			JP 2003504454 A 04-02-2003
			NO 20016290 A 22-02-2002
			NZ 516549 A 25-10-2002
			PL 352381 A1 25-08-2003
			PT 1192234 E 22-01-2010
			SK 18542001 A3 08-10-2002
			TR 200103808 T2 22-04-2002
			UA 76091 C2 17-07-2006
			US 7214252 B1 08-05-2007
			WO 0102513 A1 11-01-2001
			YU 93001 A 15-07-2004
			ZA 200110392 A 19-12-2002
DE 102008014799	A1	24-09-2009	CA 2718849 A1 24-09-2009
			CN 101978031 A 16-02-2011
			DE 102008014799 A1 24-09-2009
			EP 2254972 A2 01-12-2010
			KR 20100125428 A 30-11-2010
			TW 200948951 A 01-12-2009
			US 2011083367 A1 14-04-2011
			US 2015013224 A1 15-01-2015
			WO 2009115549 A2 24-09-2009
WO 03033624	A1	24-04-2003	DE 10151054 A1 30-04-2003
			EP 1436367 A1 14-07-2004
			WO 03033624 A1 24-04-2003

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. C10J3/48	C10K3/00	C10J3/64 C10K3/02 C10B49/10
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
C10J C10K		
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	WO 01/02513 A1 (HERHOF UMWELTECHNIK GMBH [DE]; KRUMM WOLFGANG [DE]; FUNK GUENTER [DE]) 11. Januar 2001 (2001-01-11) Seite 7, Absatz 7 - Seite 10, Absatz 1; Abbildungen 1, 2 Seite 11, Absatz 2 - Seite 11, Absatz 2 -----	1-31
A	DE 10 2008 014799 A1 (TETZLAFF KARL-HEINZ [DE]) 24. September 2009 (2009-09-24) das ganze Dokument -----	1-31
A	WO 03/033624 A1 (KARLSRUHE FORSCHZENT [DE]; HENRICH EDMUND [DE]; DINJUS ECKHARD [DE]; M) 24. April 2003 (2003-04-24) das ganze Dokument -----	1-31
☐ 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
18. August 2015		24/08/2015
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/AT2015/000052

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0102513	A1	11-01-2001	AT 453700 T 15-01-2010
		AU 773356 B2 20-05-2004	
		AU 6688400 A 22-01-2001	
		BG 64909 B1 31-08-2006	
		BG 106266 A 30-08-2002	
		BR 0012061 A 19-03-2002	
		CA 2377774 A1 11-01-2001	
		CN 1358220 A 10-07-2002	
		CY 1109873 T1 10-09-2014	
		CZ 20014724 A3 11-09-2002	
		DE 19930071 A1 22-02-2001	
		DK 1192234 T3 12-04-2010	
		EE 200100712 A 15-04-2003	
		EP 1192234 A1 03-04-2002	
		ES 2337442 T3 26-04-2010	
		HR P20010931 A2 30-04-2003	
		HU 0201894 A2 28-09-2002	
		IL 147311 A 15-12-2004	
		JP 4713036 B2 29-06-2011	
		JP 2003504454 A 04-02-2003	
		NO 20016290 A 22-02-2002	
		NZ 516549 A 25-10-2002	
		PL 352381 A1 25-08-2003	
		PT 1192234 E 22-01-2010	
		SK 18542001 A3 08-10-2002	
		TR 200103808 T2 22-04-2002	
		UA 76091 C2 17-07-2006	
		US 7214252 B1 08-05-2007	
		WO 0102513 A1 11-01-2001	
		YU 93001 A 15-07-2004	
		ZA 200110392 A 19-12-2002	
DE 102008014799	A1	24-09-2009	CA 2718849 A1 24-09-2009
			CN 101978031 A 16-02-2011
			DE 102008014799 A1 24-09-2009
			EP 2254972 A2 01-12-2010
			KR 20100125428 A 30-11-2010
			TW 200948951 A 01-12-2009
			US 2011083367 A1 14-04-2011
			US 2015013224 A1 15-01-2015
			WO 2009115549 A2 24-09-2009
WO 03033624	A1	24-04-2003	DE 10151054 A1 30-04-2003
			EP 1436367 A1 14-07-2004
			WO 03033624 A1 24-04-2003