(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
14. Oktober 2010 (14.10.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/115563 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
C10B 47/24 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/002038

(22) Internationales Anmeldedatum:
31. März 2010 (31.03.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 016 315.8 6. April 2009 (06.04.2009) DE
10 2009 052 902.0
13. November 2009 (13.11.2009) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **UHDE GMBH** [DE/DE]; Friedrich-Uhde-Strasse 15, 44141 Dortmund (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **HAMEL, Stefan** [DE/DE]; Im Obstgarten 13a, 57482 Wenden (DE). **ABRAHAM, Ralf** [DE/DE]; Lessingstrasse 66, 59192 Bergkamen (DE). **PAVONE, Domenico** [IT/DE]; Vosskuhlstrasse 1, 44797 Bochum (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **UHDE GMBH**; IP, Friedrich-Uhde-Strasse 15, 44141 Dortmund (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

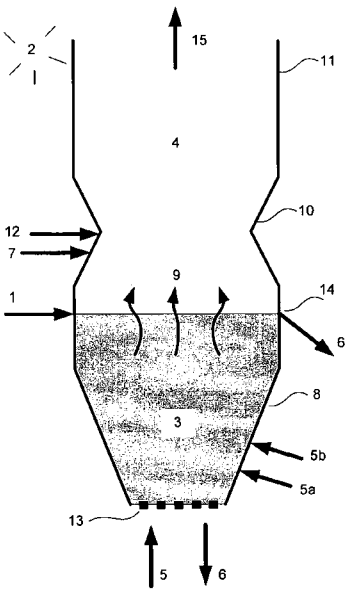
Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

(54) Title: BIOMASS TORREFACTION IN A FLUIDIZED BED FOR SUBSEQUENT ENTRAINED-FLOW GASIFICATION

(54) Bezeichnung : NIEDERTEMPERATURPYROLYSE VON BIOMASSE IN DER WIRBELSCHICHT FÜR EINE NACHFOLGENDE FLUGSTROMVERGASUNG

Figur 1



(57) Abstract: Disclosed are a method and an apparatus for producing biocoke from plant biomass, said biocoke being suitable for gasification in an entrained-flow reactor. The method includes the steps of comminuting, drying, and mixing the biomass and subjecting the comminuted biomass to torrefaction until a solid residue is formed. The torrefaction process is carried out in a fluidized-bed system that comprises a bed region having a high solid concentration and a free space thereabove having a low solid concentration.

(57) Zusammenfassung: Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Biokoks aus pflanzlicher Biomasse, wobei der Biokoks zur Vergasung in einem Flugstromreaktor geeignet ist, mit den Verfahrensschritten Zerkleinerung, Trocknung und Vermischung der Biomasse sowie Niedertemperaturpyrolyse der zerkleinerten Biomasse, bis sich ein fester Rückstand bildet, wobei die Niedertemperaturpyrolyse in einer Wirbelschichtanlage erfolgt, die einen feststoffreichen Bettbereich und einen feststoffarmen Freiraum darüber aufweist.

WO 2010/115563 A2

Niedertemperaturpyrolyse von Biomasse in der Wirbelschicht für eine nachfolgende Flugstromvergasung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine dafür geeignete Vorrichtung zur Niedertemperaturpyrolyse von Biomasse in der Wirbelschicht für deren nachfolgende Flugstromvergasung.

Niedertemperaturpyrolyse von Biomasse, oder auch "Torrefaction" genannt, wird in einem Temperaturbereich von 200-300°C unter Sauerstoffausschluß durchgeführt. Hier beginnen die thermischen Zersetzungsvorgänge der Biomasse und führen zu einer Freisetzung in geringem Umfang von Gasen (hauptsächlich CO_2 und CO), ersten organischen Reaktionsprodukten und Wasser sowohl aus Dehydrierung als auch aus der Resttrocknung. Weiterer wichtiger Effekt ist, dass sich die Zähigkeit hervorgerufen durch die Faserstruktur reduziert. Dadurch wird eine weitere Zerkleinerung deutlich vereinfacht und der benötigte Energieaufwand für die Zerkleinerung reduziert sich deutlich.

Dadurch, dass die faserige Struktur zerstört wurde, kann die torrifizierte Biomasse soweit aufgemahlen werden, dass ein Einsatz in einem Flugstromvergaser möglich ist.

Der Energieinhalt des Feststoffs hängt von den Betriebsbedingungen ab, liegt aber typischerweise im Bereich von 80-90% des Energieinhalts der trockenen Ausgangsbiomasse.

Eine solche Niedertemperaturpyrolyse wird prinzipiell beispielsweise in Schachtreaktoren durch Zugabe von heißen Gasen durchgeführt. Bekannt sind auch Verfahren, die in einem Drehrohr oder in mechanischen Mixern unter Zugabe von heißen Gasen und/oder durch Wandbeheizung die Niedertemperaturpyrolyse durchgeführt wird. Diesen Verfahren ist gemeinsam, dass zunächst eine grobe Vorzerkleinerung erfolgen muß (angelieferte Biomasse kann in unterschiedlichsten Formen vorliegen. Stämme, Bruchstücke, Reste aus der Holzverarbeitung, landwirtschaftliche Abfälle, Pflanzenschnitt usw.).

Die Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein verbessertes Verfahren und eine dafür geeignete Vorrichtung zur Verfügung zu stellen, welche bessere Eigenschaften gegenüber dem bekannten Stand der Technik aufweist. Die Erfindung löst diese Aufgabe entsprechend den Ansprüchen 1 bis 42.

Kern der Erfindung ist, dass diese Niedertemperaturpyrolyse in der stationären (blasenbildenden) Wirbelschicht durchgeführt wird. Diese wird mit sauerstofffreiem Gas

betrieben. Je nach Biomasse wird eine Betriebstemperatur von 200 bis 380°C, vorzugsweise 220 bis 350°C, eingestellt. Die Wärmeeinbringung erfolgt zum Einen auf direktem Wege über Brenner oder aber auf indirektem Wege über Wärmetauscher, die sowohl rohrförmig, als auch flächig ausgebildet sein können. Zu diesem Zweck können externe Wärmequellen eingesetzt werden und/oder die in anfallenden Prozessgasen enthaltene Wärmemenge kann genutzt werden. Beispielsweise wäre hier die Rückführung von heißem Fluidisierungsgas denkbar. Vorteile der Wirbelschicht gegenüber den bekannten Schachtreaktoren oder Mixern oder Drehrohren sind:

- Die Partikelgröße ist zwangsweise kleiner (typisch kleiner 10mm), dadurch ist zwar ein geringfügig größerer Aufwand bei der Zerkleinerung der Rohbiomasse, aber der thermische Apparat kann kleiner gestaltet werden. Aufgrund der kleineren Partikel ist eine schnellere Aufheizung zu erreichen. Die Verweilzeit im Apparat kann dadurch reduziert werden.

- Die Wirbelschicht ist durch hohe Wärmeübergangskoeffizienten gekennzeichnet. Die frischen Biomassepartikel werden durch den Kontakt mit bereits aufgeheizten und durch Kontakt mit dem vorgewärmten Fluidisierungsmedium erhitzt. Ersteres ist aufgrund der guten Durchmischung innerhalb der Wirbelschicht gewährleistet. D.h. der Apparat ist tendenziell kleiner als der Mixer oder das Drehrohr.

- Die Wirbelschicht kommt ohne mechanisch bewegte Bauteile aus. Mixer haben z.B. Paddel, Schachtreaktoren haben oft einen bewegten Rost, der entweder kontinuierlich in Bewegung ist (exzentrische Drehung) oder diskontinuierlich (Rütteln etc.) in Bewegung versetzt wird.

- Stationäre Wirbelschicht heißt, dass sich der Feststoff innerhalb des Bettbereichs bewegt. Z.B. wird bei einer zirkulierenden Wirbelschicht das Bettmaterial ständig im Kreis gefahren. Daher hat man es bei diesem Verfahren mit einem geringen Feststoffaustrag und einem Verhalten der Wirbelschicht wie eine Flüssigkeit zu tun. Der pyrolysierte Feststoff kann z.B. am Boden abgezogen werden, oder auch optional über einen Überlauf an der Wirbelbettoberfläche abgezogen werden.

Die freigesetzten flüchtigen Komponenten vermischen sich mit dem zugeführten Fluidisiergas, hier Pyrolysegas genannt. Ist das Ziel eine Maximierung der Feststoffausbeute, ist das Pyrolysegas sehr schwachkalorig und muß unter Zuhilfenahme eines Stützbrennstoffes verbrannt werden. Dieser Stützbrennstoff kann z.B. rezirkuliertes Rohgas aus der Prenflovergasung sein, Tailgas aus dem Gastreatment, oder ein anderes brennbares

Hilfsgas. Das so erzeugte heiße Rauchgas kann zur Vorwärmung des Fluidisiergases und zur Trocknung der angelieferten Biomasse eingesetzt werden.

Erhöht man die Wirbelschichttemperatur, so erhöht sich auch die Flüchtigenausbeute womit mehr und ein heizwertreicheres Pyrolysegas entsteht. Allerdings sind bei 400°C nur noch ca. 40-50% des Energieinhalts der trockenen Biomasse im Koks wiederzufinden, dagegen bei 250-300° noch 80-90%.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Figuren 1 bis 4 näher erläutert, wobei die Erfindung aber nicht auf die darin dargestellten Beispiele beschränkt ist.

Figur 1: Biomasse (1) wird in eine Wirbelschichtanlage (2) gefördert. In die Wirbelschicht wird dabei Fluidisierungsgas (5) so zugeführt, daß sich eine feststoffreiche Zone, das Wirbelbett (3) und eine feststoffarme Zone, der Freiraum (4), ausbilden. Die zugeführte Biomasse (1) kann mit geeigneten Förderaggregaten entweder direkt in das Wirbelbett (3) oder in den Freiraum (4) oberhalb des Wirbelbettes gefördert werden. Das Wirbelbett wird dabei im Temperaturbereich von 200°C bis 380°C, vorzugsweise aber im Bereich 250°C bis 350°C, betrieben. Die zugeführte Biomasse erwärmt sich, so daß zunächst noch enthaltene Feuchtigkeit verdampft und freigesetzt wird. Mit weiterer Partikelaufheizung beginnen die ersten thermisch bedingten Zersetzungsvorgänge der Biomasse. Typischerweise werden zunächst in geringem Umfang Gase (hauptsächlich CO_2 und CO), erste organische Reaktionsprodukte und Wasser sowohl aus Dehydrierung als auch aus der bereits genannten Resttrocknung, entstehen. Dabei kann die Wärmeeinbringung in die Wirbelschichtanlage (2) durch die Installation von Wärmetauschern (nicht dargestellt), die als Flächen oder Rohre ausgestaltet sein können und vorzugsweise in den feststoffreichen Bettbereich (3) ragen, erfolgen. Vorteilhaft ist die Ausgestaltung der Wärmetauscher als Doppelwandung der Reaktorwand. Vorstellbar sind beispielsweise auch Wärmerohre (auch als „Heat-Pipe" bezeichnet), die in die Wirbelschichtanlage (2) ragen.

Wird die Temperatur über den erfindungsgemäßen Bereich hinaus weiter erhöht, so steigen jenseits der 400°C (abhängig von der Biomasse) die Zersetzungsreaktionen, Pyrolyse, der Markomoleküle an. Die Menge der freigesetzten Gase steigt an, allerdings erreichen die freigesetzten höheren Kohlenwasserstoffe z.B. für Buchenholz bei etwa 480°C ein Maximum. Hier werden z.B. aus Buchenholz etwa 70 Gew.-% der wasser- und aschefreien Brennstoffsubstanz als höhere, kondensierbare Kohlenwasserstoffe auch zusammenfassen als Teere bezeichnet, freigesetzt. Etwa 15 Gew.-% werden als Gas freigesetzt und rd. 15 Gew.-% verbleiben als fester Rückstand, den sogenannten Koks. Mit weiterer Anhebung der Pyrolysetemperatur sinkt die Ausbeute an Teeren und an Koks ab, bis bei rd. 1000°C ca. 5

Gew.-% Koks, rd. 20 Gew.-% Teer und ca. 75 Gew.-% als Gases freigesetzt werden (Werte für Buchenholzpyrolyse).

Unterhalb der etwa 350°C laufen die Zersetzungsreaktionen begrenzt ab, so daß auch der Begriff „milde Pyrolyse" verwendet wird. Während oberhalb der 400°C nur noch ein geringer Anteil an Feststoff (Koks) zurückbleibt (ca. 20 Gew.-% für Buchenholz und 400°C), verbleiben bei 250°C in Abhängigkeit des Biomassetyps etwa 80 bis 95 Gew.-% als Feststoff (Biokoks 6). Die Behandlung der Biomasse bei 220°C bis 350°C bewirkt, daß sich die Zähigkeit hervorgerufen durch die Faserstruktur reduziert. Dadurch wird eine weitere Zerkleinerung vereinfacht und der benötigte Energieaufwand für die Zerkleinerung reduziert sich deutlich.

Eine in **Figur 1** dargestellte vorteilhafte Gestaltung kann konisch und/oder zylindrisch gestaltete Abschnitte der Reaktorwand (8) im Wirbelbettbereich vorsehen. Eine gestufte Zugabe des Fluidisierungsgases (5a,b) kann sich beispielsweise im Falle eines konischen Wirbelbettbereichs vorteilhaft auf die Geschwindigkeitsverteilung und damit auf die Feststoffvermischung innerhalb des Wirbelbettes auswirken. Als Fluidisierungsgaszugabe können die Zugabe über den Boden (5) oder über die Wand (5a,b) jeweils einzeln, aber auch in Kombination vorgesehen werden. Dies ist allerdings maßgeblich von der Anlagengröße bestimmt. Im Falle von sehr großen Reaktorquerschnitten wirkt sich eine Zugabe über die Wand nur noch geringfügig aus, maßgeblich dann ist eine möglichst effektive Fluidisierung des Bettmaterials über die Bodenzufuhr (5). Bei kleinen Reaktoren, die beispielsweise konisch nach unten verjüngt sind, kann eine Fluidisierungsgaszugabe ggf. sogar gestuft über die Wand (5a,b) eine vorteilhafte Feststoffbewegung bewirken.

Die innerhalb des Wirbelbettes (3) freigesetzten Entgasungsprodukte, wie z.B. Gaskomponenten und Kohlenwasserstoffe, mischen sich mit dem zugeführten Fluidisierungsgas (5). Enthält das Fluidisierungsgas reaktive Komponenten, kann es zu ersten Reaktionen mit den Pyrolyseprodukten kommen. Das Gemisch aus Pyrolyseprodukten, Fluidisierungsgas und ggf. ersten Reaktionsprodukten, das den Wirbelbettbereich (3) verlässt, wird im folgenden zusammenfassend als Pyrolysegas (9) bezeichnet. Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß das Pyrolysegas (9), welches das Wirbelbett (3) verlässt und den Freiraum (4) durchströmt, durch Zugabe eines Oxidationsmittels (7) zumindest partiell oxidiert wird.

Eine vorteilhafte Gestaltung der Erfindung kann vorsehen, daß im Freiraum (4) eine geometrische Verengung (10) des Reaktorquerschnittes erfolgt. Die Verengung kann so

gestaltet sein, daß sich der Querschnitt Freiraums darüber (11) entweder wieder erweitert oder der Querschnitt der Verengung beibehalten wird. Durch eine Einschürung werden die Geschwindigkeit und die Turbulenz der Gasströmung erhöht. Die Zugabe des Oxidationsmittels bietet sich demnach im Bereich der Einschnürung, also kurz vorher, genau in der Verengung oder kurz nach der Verengung an, da die Erhöhung der Turbulenz eine Verbesserung der Vermischung mit sich bringt, was sich wiederum vorteilhaft auf die partielle Oxidation der freigesetzten Pyrolysekomponenten auswirkt. Bei niedriger Temperatur der Wirbelschicht, z.B. 220°C, werden geringere Mengen an Flüchtigen freigesetzt, als bei höherer Temperatur wie z.B. 350°C. Daher besteht je nach Betriebsweise in Abhängigkeit des Biomassetyps die Notwendigkeit die Temperatur im Freiraum durch Zugabe eines Stützbrennstoffs (12) zu erhöhen, um die partiellen Oxidationsreaktionen sicherstellen zu können. Als Stützbrennstoff können Gase (wie z.B. Erdgas, Brenngas, Tailgase, rezirkuliertes Synthesegas etc.), auch flüssige Brennstoffe (wie z.B. Öl) oder auch feste Brennstoffe dienen. Als fester Brennstoff kann beispielsweise eine feine Fraktion der Biomasse selbst (z.B. Abscheidung aus Filter) oder auch Staubkohle verwendet werden.

Der durch die thermische Behandlung entstandene feste Biomasserückstand, Biokoks (6), wird aus dem Wirbelbett (3) über einen offenen Düsenboden (13) oder konischem Reaktionsteil mit gestuften Düsen abgezogen. Der Düsenboden (13) ist so gestaltet, daß zwischen den Fluidisierungsgaszufuhrdüsen ausreichender Zwischenraum vorliegt durch den der Biokoks (6) hindurch abgezogen werden kann. Im konischen Reaktionsraum wird das Bodenprodukt an der tiefsten Stelle abgezogen.

Da sich eine stationäre Wirbelschicht ähnlich wie eine Flüssigkeit verhält, kann ein Abzug des Biokokses (6) alternativ oder auch zusätzlich über einen Überlauf (14) erfolgen. Je nach Anforderungen der folgenden Prozeßschritte wird der aus dem Wirbelbett (3) abgezogene Biokoks (6) optional mittels einer Kühlschnecke weitertransportiert.

Figur 2: In Figur 2 ist eine erfindungsgemäße Variante des Verfahrens dargestellt. Die rohe, angelieferte Biomasse (16) wird über ein Zwischenlager (17) einer Zerkleinerungsvorrichtung (18) zugeführt, in der die Biomasse auf eine wirbelschichttaugliche Partikelgröße von typischerweise kleiner 30 mm gebracht wird. Die zerkleinerte Biomasse (19) wird einer anschließenden Trocknungsanlage (20) vorgetrocknet. Es können wie in Figur 2 dargestellt auch mehrere Arten von Biomasse (16a,b) mit separaten Lagerungsmöglichkeiten (17a,b) in eigenen Zerkleinerungsvorrichtungen (18a,b) vorbereitet werden. Die verschiedene Biomassearten können dann in einem Mischer (nicht dargestellt) gemischt und dann einer

Trocknung zugeführt werden, oder direkt der Trocknungsanlage (20) zugeführt werden, in der auch die Mischung stattfindet.

So kann beispielsweise waldfrisches Holz einen Wassergehalt von 50 Gew.-% aufweisen, der vor der thermischen Behandlung in der Wirbelschichtanlage (2) reduziert werden sollte. Die wärmetechnische Integration der Trocknungsanlage (20) in die Gesamtanlage kann auf verschiedene Weisen erfolgen. So können beispielsweise Abwärmeströme aus nachgeschalteten Anlagenkomponenten der Vergasung, Synthesegasreinigung oder der Anlagen zur Hilfsmedienbereitstellung verwendet werden. Auch kann ein Teil des Synthesegases aus der Vergasung, ein Hilfsbrennstoff oder auch Tailgase z.B. aus der Gasreinigung oder nachfolgenden Synthese zur Erzeugung der benötigten Trocknungswärme verwendet werden.

Die thermische Behandlung wird wie bereits beschrieben in der Wirbelschichtanlage (2) durchgeführt. Der erzeugte Biokoks (6) wird zusammen mit Kohle (22) in eine Kohlemahltrocknungsanlage (21) gebracht und dort gemeinsam pulverisiert. Der pulverisierte Brennstoff (23), hier noch unter nahezu atmosphärischen Bedingungen, wird in die Schleus- und Fördervorrichtung (24) der Vergasungsanlage gebracht. Dort wird der Brennstoff auf den notwendigen Druck (25) gebracht und anschließend kontinuierlich zum Vergasungsreaktor (26) gefördert, zur Erzeugung eines Synthesegases (27).

Das aus der Wirbelschichtanlage (2) austretende Gas (15) wird im Beispiel in **Figur 2** vorteilhaft in die Kohlemahltrocknung (21) geführt. Dort wird es dem Heißgaserzeuger zugeführt, wobei die zum Einen die verbrennbaren Substanzen aus der Pyrolyse oxidiert werden und zum Anderen die inerten Bestandteile zur Inertisierung des Mahlkreislaufes beitragen.

Figur 3: Figur 3 zeigt eine weitere Ausbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Verfahrensweise erfolgt analog zu Figur 2, wobei hier ein Stützbrennstoff (12) und ein Oxidationsmittel (7) in den Freiraum (4) der Wirbelschichtanlage (2) gegeben, wodurch die verbrennbaren Bestandteile des Pyrolysegases (9) zumindest partiell oxidiert werden und das Temperaturniveau des austretenden Gases (15) angehoben wird. Das austretende Gas (15) wird der Trocknungsanlage (20) zugeführt, um den vorhandenen Wärmeinhalt des Gases dort zur Vortrocknung der Biomasse zu nutzen. Das aus der Trocknungsanlage freigesetzte Gas (28), bestehend aus dem Austrittsgas (15) der Wirbelschichtanlage (2) und dem aus der Trocknung freigesetzten Dampf, wird in den Heißgaserzeuger der Kohlemahltrocknung (21) geführt.

Figur 4 zeigt eine weitere Ausbildung, wobei ein Teil des Wärmeinhalts des aus der Wirbelschichtanlage (2) austretenden Gases (15) mittels eines Wärmetauschers (29) zur Vorwärmung des Fluidisierungsgases (5) dient. Ein Teilstrom des auf diese Weise vorgewärmten Fluidisierungsgases kann einem Wärmetauscher (nicht gezeigt) zugeführt werden, der in die Wirbelschichtanlage (2) ragt und/oder in die doppelwandig ausgestaltete Reaktorwand der Wirbelschichtanlage (2), geleitet werden. Dabei befinden sich diese Wärmetauscher bevorzugt im feststoffreichen Bettbereich (3). Der restliche Wärmeinhalt des Gases (30) kann wie in **Figur 4** dargestellt der Trocknungsanlage (20) zugeführt werden. Das aus der Trocknungsanlage (20) freigesetzte Gas (28) wird an die Umgebung abgegeben oder vorher sofern erforderlich einer Reinigungsstufe (nicht dargestellt) zugeführt. Alternativ kann das Gas (28) auch der Kohlemahltrocknung (21) und dort dem Heißgaserzeuger zugeführt werden.

Bezugszeichen

1, 1a,b	Biomasse
2	Wirbelschichtanlage
3	Bettbereich, Wirbelbett
4	Freiraum,
5, 5a,b	Fluidisierungsgas
6	Biokoks
7	Gas
8	Reaktorwand Wirbelbett
9	Pyrolysegas
10	Einschnürung
11	Reaktorwand Freiraum
12	Stützbrennstoff
13	Düsenboden
14	Überlauf
15	Austrittsgas der Wirbelschichtanlage
16, 16a,b	Rohe Biomasse (Anlieferungszustand)
17, 17a,b	Biomasselager
18, 18a,b	Zerkleinerung
19, 19a,b	Zerkleinerte Biomasse
20	Biomassetrocknung
21	Kohlemahltrocknungsanlage
22	Kohlezufuhr
23	Pulverisierter Brennstoff (atmosphärisch)
24	Brennstoffschleusung und -förderung
25	Pulverisierter Brennstoff (unter Druck)
26	Vergasungsanlage
27	Synthesegas
28	Freigesetztes Gas aus der Trocknung
29	Wärmetauscher
30	abgekühltes Austrittsgas der Wirbelschichtanlage

Ansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Biokoks aus pflanzlicher Biomasse, wobei der Biokoks zur Vergasung in einem Flugstromreaktor geeignet ist, mit den Verfahrensschritten Zerkleinerung, Trocknung und Vermischung der Biomasse sowie Niedertemperaturpyrolyse der zerkleinerten Biomasse, bis sich ein fester Rückstand bildet, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Niedertemperaturpyrolyse in einer Wirbelschichtanlage erfolgt, die einen feststoffreichen Bettbereich und einen feststoffarmen Freiraum darüber aufweist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wirbelschicht bei 200°C bis 380°C, vorzugsweise bei 220°C bis 350°C betrieben wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wirbelschichtanlage durch indirekten Wärmeaustausch erhitzt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Erhitzen der Wirbelschichtanlage externe Wärmequellen verwendet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Erhitzen der Wirbelschichtanlage ein Teilstrom des Fluidisierungsgases verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zerkleinerung der Biomasse auf eine Partikelgröße von weniger als 30 mm, vorzugsweise auf weniger als 10 mm, erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Leerrohrgeschwindigkeit in der Wirbelschicht der Niedertemperaturpyrolyse zwischen 0,1 und 2,5 m/s eingestellt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Fluidisierung der Wirbelschicht Luft, ein Inertgas oder Kohlendioxid oder ein rezirkuliertes Prozessgas verwendet wird oder eine Mischung daraus.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Fluidisierungsgas auf eine Temperatur von 250 bis 600°C vorgewärmt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das im Wirbelbett freigesetzte Pyrolysegas wenigstens partiell oxidiert wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oxidation oder partielle Oxidation des Pyrolysegases im Freiraum oberhalb des Wirbelbettes erfolgt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Oxidation oder partiellen Oxidation des Pyrolysegases ein Hilfsbrennstoff eingesetzt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Oxidation oder partiellen Oxidation des Pyrolysegases ein sauerstoffhaltiges Gas eingesetzt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oxidation oder partielle Oxidation des Pyrolysegases bei einer Raumtemepratur von 600°C bis 950°C durchgeführt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die bei der Oxidation oder partiellen Oxidation erzeugte Wärme zur Trocknung der eingesetzten Biomasse und/oder zur Vorwärmung des Fluidisierungsgases genutzt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Trocknung der Biomasse in einer Wirbelschicht durchgeführt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** der aus der Niedertemperaturpyrolyse erhaltene Biokoks zermahlen wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zermahlene Biokoks mit Druck beaufschlagt wird, wobei der Druck oberhalb dem einer Flugstromvergasung gewählt wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** der aus der Niedertemperaturpyrolyse erhaltene Biokoks gemeinsam mit einem oder mehreren anderen festen Brennstoffen zermahlen wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** der andere Brennstoff Kohle oder Petcoke ist.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zermahlene Biokoks zusammen mit dem anderen Brennstoff mit Druck beaufschlagt wird, wobei der Druck oberhalb dem einer Flugstromvergasung gewählt wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zermahlene Biokoks mit gemahlenem fossilen Brennstoff und/oder getrocknetem Klärschlamm und/oder gemahltenem Petcoke vermischt und gemeinsam als Brennstoff in eine Flugstromvergasung gefördert wird.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das aus der Wirbelschichtanlage erhaltene Gas in einen Heißgaserzeuger geführt wird.

24. Verfahren nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Heißgaserzeuger Teil einer Mahltrockungsanlage ist.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 oder 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** das aus der Wirbelschichtanlage erhaltene Gas und das Gas, welches aus der Biomassetrocknung erhalten wird, zusammen in den Heißgaserzeuger einer Kohlemahltrockungsanlage geführt werden.

26. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß den Ansprüchen 1 bis 25, **gekennzeichnet durch** eine Wirbelschicht für die Niedertemperaturpyrolyse mit einer Fluidisierungsgaszufuhr über einen Düsenboden, durch den der Biokoks mit einer mechanischen Abzugsvorrichtung abgezogen werden kann.

27. Vorrichtung nach Anspruch 26, **gekennzeichnet durch** die Verwendung eines offenen Düsenbodens für die Fluidisierungsgaszufuhr.

28. Vorrichtung nach Anspruch 26, **gekennzeichnet durch** die Verwendung einer konischen Wirbelkammer mit gestuften Düsen für die Fluidisierungsgaszufuhr.

29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 28, **gekennzeichnet durch** die Verwendung einer Kühlschnecke als Abzugsvorrichtung.

30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 28, **gekennzeichnet durch** die Verwendung einer Zellenradschleuse als Abzugsvorrichtung.

31. Vorrichtung nach Anspruch 25 oder 26, **gekennzeichnet dadurch, dass** der untere Teil der Wirbelschichtkammer konisch nach unten zulaufend ausgebildet ist.

32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 31 aufweisend mindestens einen Wärmetauscher, der als Rohre oder Flächen ausgestaltet ist.

33. Vorrichtung nach Anspruch 32, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wärmetauscher als Doppelwandung der Wirbelschichtanlage ausgestaltet ist.

34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 33, aufweisend mindestens ein Wärmerohr zum Wärmetransfer.

35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 32 bis 34, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Wärmetransfer dienende Vorrichtungen vorzugsweise im feststoffreichen Bettbereich angeordnet sind.

36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 35 zur Durchführung des Verfahrens entsprechend einem der Ansprüche 1 bis 25, aufweisend
    - eine Anlage zur Zerkleinerung, Trocknung und Mischung für biologische, pflanzliche Brennstoffe,
    - eine als stationäre Wirbelschicht ausgebildete Niedertemperaturpyrolyseanlage,
    - einen darüber angeordneten Gasraum,
    - eine Zuführeinrichtung für zerkleinerte, getrocknete und gemischte Brennstoffe oberhalb des Wirbelbettes,
    - eine Abzugsvorrichtung für Pyrolysekoks aus der Wirbelschicht,
    - eine Mahlvorrichtung für Pyrolysekoks,
    - Vorrichtungen zur Bespannung von feingemahlenem Pyrolysekoks,
    - sowie ferner Transportmittel sowie Zuführ- und Abzugseinrichtungen für Gasströme und Brennstoffe zwischen, zu und von den einzelnen Anlagenteilen und entsprechende Lagerungsmöglichkeiten.

37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 36 zur Durchführung des Verfahrens entsprechend einem der Ansprüche 11 bis 25, aufweisend einen Brenner zur Zufuhr von Hilfsbrennstoff in den Gasraum.

38. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 36 zur Durchführung des Verfahrens entsprechend einem der Ansprüche 12 bis 25, aufweisend eine Einrichtung zur Zufuhr von Verbrennungsluft oder sauerstoffhaltigem Gas in den Gasraum.

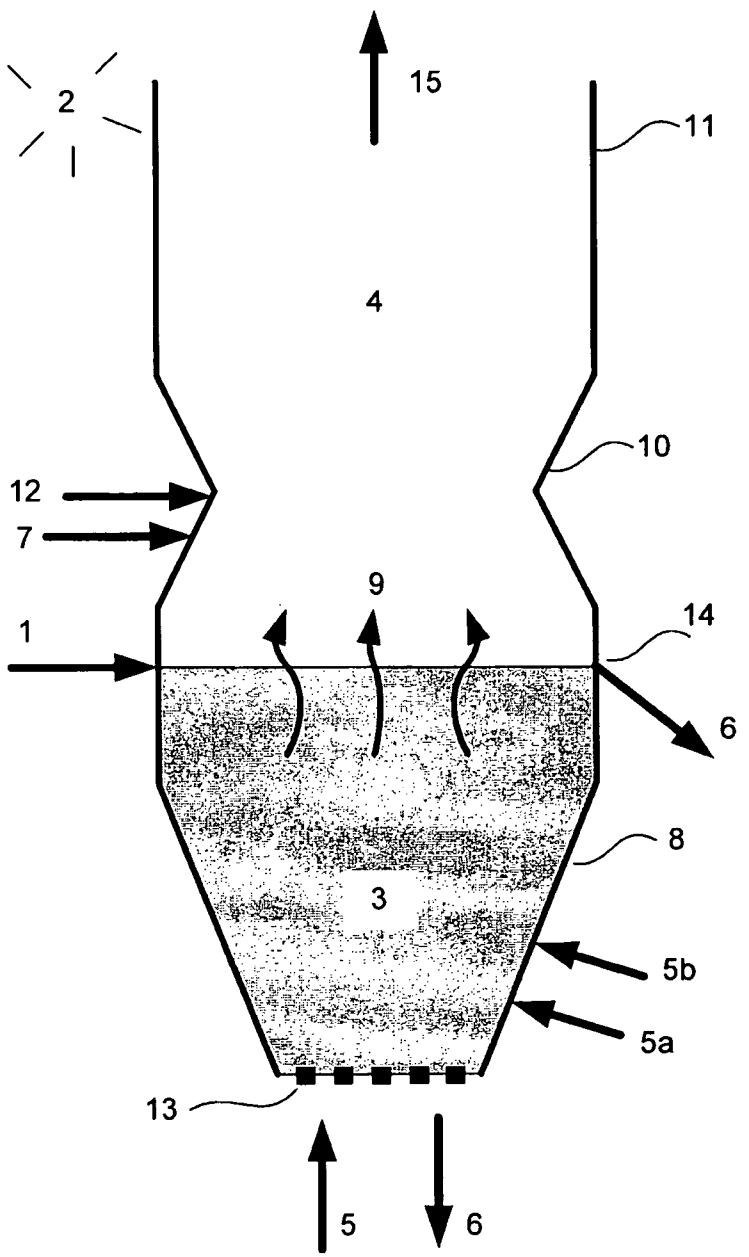
39. Vorrichtung nach Anspruch 36, aufweisend Vergasungsvorrichtungen für eine Flugstromvergasung sowie zugehörige Fördereinrichtungen.

40. Vorrichtung nach Anspruch 36, aufweisend eine Kohlemahltrocknungsanlage.

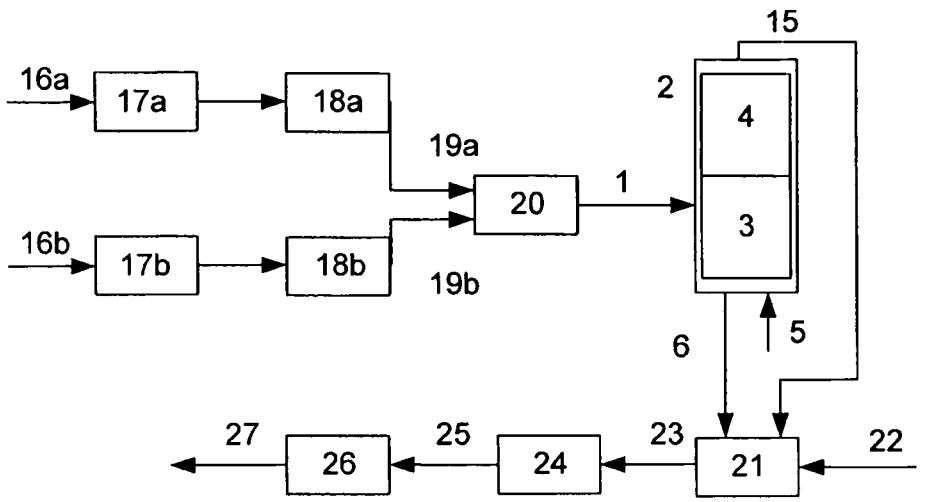
41. Vorrichtung nach Anspruch 36, aufweisend eine Förderschnecke für die Zufuhr von zerkleinerten, getrockneten und gemischten Brennstoffen oberhalb des Wirbelbettes.

42. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 36 bis 41, aufweisend zusätzlich eine Strömungseinschnürung zwischen Wirbelschicht und Gasraum, wobei die Zuführeinrichtung für zerkleinerte, getrocknete und gemischte Brennstoffe unterhalb der Einschnürung angeordnet ist.

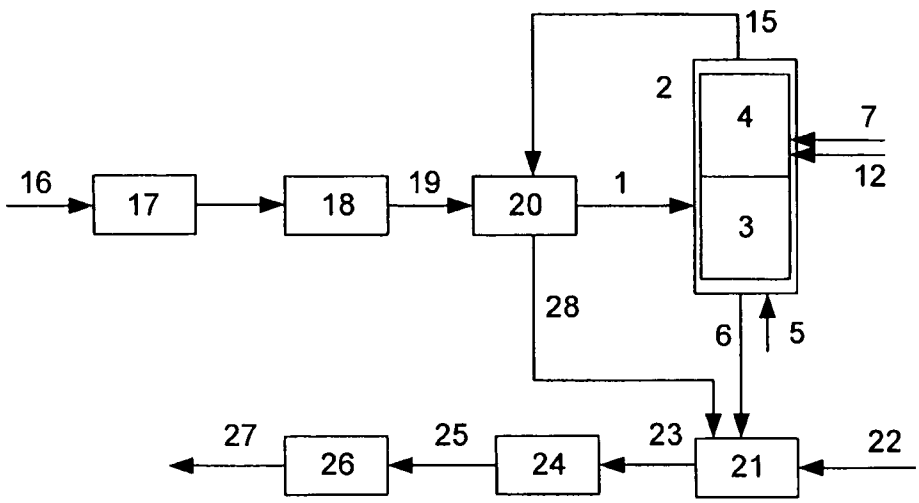
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4

