

(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
2. Mai 2013 (02.05.2013)



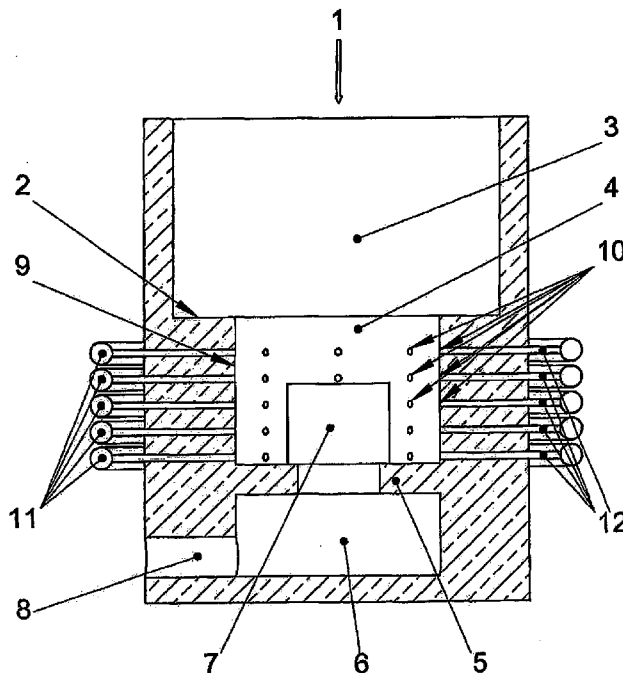
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/060474 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
C10J 3/72 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/004503
- (22) Internationales Anmeldedatum:
26. Oktober 2012 (26.10.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2011 117 140.5
28. Oktober 2011 (28.10.2011) DE
- (71) Anmelder: **LIGENTO GREEN POWER GMBH**
[DE/DE]; Hans-Vogel-Str. 121, 90765 Fürth (DE).
- (72) Erfinder: **ZUCKERMAIER, Martin**; Justus von Liebig
Str. 28,5, 83052 Heufeld (DE). **TSCHAFTARY, Thomas**;
Am Heinrichsberg 16, 90587 Veitsbromm (DE).
- (74) Anwalt: **HARBACH, Ulrich**; Tergau & Walkenhorst,
Patentanwälte - Rechtsanwälte, Eschersheimer Landstraße
105 - 107, 60322 Frankfurt (DE).
- (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, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, 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, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR OPERATING A GASIFICATION REACTOR

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES VERGASUNGSREAKTORS



(57) Abstract: The aim of a method for operating a gasification reactor (1) that comprises a reaction chamber (4) for the autothermic and/or allothermic gasification of carbonaceous combustible material into useful gases is to improve the efficiency of a gasification reactor for gasifying carbonaceous combustible material into useful gases with respect to useful gas yield and thermal yield as well as to the operational stability of the gasification reactor. To this end, the composition, quantity, pressure, speed, temperature and/or specific discharge pulse of a gasification agent that is fed via control inlets (10) of the reaction chamber (4) are controlled in a variable manner by means of a number of controlled variables that are detected in the reaction chamber (4), the composition (34) of the useful gas and/or the volume flow (30) of the useful gas and/or the respective pressure (36) in a reservoir (3) for the combustible material, in the reaction chamber (4) and/or in a gas outlet (8) being used as a controlled variable (30, 32, 34, 36, 38, 40).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

Fig. 1

WO 2013/060474 A1



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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Ein Verfahren zum Betreiben eines Vergasungsreaktors (1) mit einer Reaktionskammer (4) für die autotherme und/oder allotherme Vergasung von kohlenstoffhaltigem Brennmateriel zu Nutzgases soll den Wirkungsgrad eines Vergasungsreaktors für die Vergasung von kohlenstoffhaltigem Brennmateriel zu Nutzgases bezüglich Nutzgases- und Wärmeausbeute sowie dessen Betriebsstabilität verbessern. Dazu werden Zusammensetzung, Menge, Druck, Geschwindigkeit, Temperatur und/oder spezifischer Austrittspuls eines über Regelungseingänge (10) der Reaktionskammer (4) zugegebenen Vergasungsmittels variabel anhand einer Anzahl von in der Reaktionskammer (4) ermittelten Regelgrößen gesteuert, wobei die Zusammensetzung (34) des Nutzgases und/oder der Volumenstrom (30) des Nutzgases und/oder der jeweilige Druck (36) in einem Reservoir (3) für das Brennmateriel, in der Reaktionskammer (4) und/oder in einem Gasaustritt (8) als Regelgröße (30, 32, 34, 36, 38, 40) verwendet werden.

Beschreibung

Verfahren zum Betreiben eines Vergasungsreaktors

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Vergasungsreaktors (1) mit einer Reaktionskammer (4) für die autotherme und/oder allotherme Vergasung von kohlenstoffhaltigem Brennmateri al zu Nutzgasen, wobei Zusammensetzung (28), Menge (20), Druck (22), Geschwindigkeit, Temperatur (26) und/oder spezifischer Austrittspuls eines über Regelungseingänge (10) der Reaktionskammer (4) zugegebenen Vergasungsmittels variabel anhand einer Anzahl von in der Reaktionskammer (4) ermittelten Regelgrößen (30, 32, 34, 36, 38, 40) gesteuert werden. Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise aus der DE 10 2004 020 919 A1 bekannt.

Definitionen

In der vorliegenden Erfindung wird allgemein unter einem Reaktor ein Teil einer Anlage verstanden, in dem chemische Reaktionen von einem oder mehreren Ausgangsmaterialien zu einem oder mehreren Produkten durchgeführt werden. Daher wird in dieser Erfindung unter einem Vergasungsreaktor ein Behälter als ein Teil einer Anlage verstanden, in dem kohlenstoffhaltiges Brennmateri al zu Nutzgasen umgesetzt, also dazu vergast wird.

In der vorliegenden Erfindung wird unter einem Nutzgas eine Substanz oder ein Substanzgemisch verstanden, die oder das sich sowohl selbst als Brennstoff für Brennkraftmaschinen und auch als Rohstoff für weitere chemische Herstellungsverfahren eignet.

In der vorliegenden Erfindung wird unter einem kohlenstoffhaltigen Brennmateri al ein solches Material verstanden, dessen enthaltender Kohlenstoff in Form einer exothermen Reaktion zu Kohlendioxid (CO₂) an Luft oxidiert, also verbrannt werden kann. In diesem Sinne umfasst das kohlenstoffhaltige Brennmateri al insbe-

sondere Biomasse, fossile Brennstoffe und synthetisch-organische Stoffe, speziell entsprechend kohlenstoffhaltige Kunststoffe. In der vorliegenden Erfindung wird unter Biomasse allgemein jedwede kohlenstoffhaltige Substanz verstanden, die direkt oder indirekt aus physiologischen Prozessen von lebenden Organismen, insbesondere aus pflanzlicher Photosynthese stammt, nicht dem natürlichen Kohlenstoffkreislauf entzogen ist und sich auch durch Organismen exotherm zu CO_2 umsetzen lässt. Beispiele für Biomasse sind Gärreste, Holz, Laub, Heu, Stroh, Papier, Pappe, Kompost, Fäkalien und Klärschlamm.

In der vorliegenden Erfindung werden unter fossilen Brennstoffen solche Formen von Biomasse verstanden, die sich in einer geologischen Senke befinden und somit dem natürlichen Kohlenstoffkreislauf entzogen sind. Beispiele für fossile Brennstoffe sind Asphalt, Teer, Bitumen, Torf, Braunkohle, Steinkohle und Graphit.

Unter einem kohlenstoffhaltigem Brennmaterial kann auch eine Mischung verschiedener kohlenstoffhaltiger Brennmaterialien, beispielsweise aus Biomasse, aus synthetisch-organischen Stoffen und speziell aus Kunststoffen verstanden werden. Ein weiteres Beispiel für ein kohlenstoffhaltiges Brennmaterial ist daher Hausmüll als Gemisch von solchen Brennstoffen. Damit ist die Form des kohlenstoffhaltigen Brennmaterials unabhängig von seiner Form anzusehen, ein weiteres Beispiel ist Holz in Form von Stämmen, Hackschnitzeln variierender Größe, Sägemehl oder in Form von Pellets.

Technischer Hintergrund

Die Pyrolyse als rein thermische Zersetzung von Biomasse, Stein- und Braunkohle verläuft vorwiegend endotherm in Abhängigkeit des Sauerstoffgehaltes und der Bindungsart des Sauerstoffes. Innerhalb des Brennstoffs kann die Pyrolyse auch exotherm verlaufen. Insbesondere bei der Pyrolyse von Stein- oder Braunkohle entstehen neben Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H_2) und Methan (CH_4) beispielsweise noch flüchtige Kohlenwasserstoffe. Kunststoffe, die beispielsweise nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen, pyrolysieren unter Luftausschluss

ausschließlich zu niederen Kohlenwasserstoffen. Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H₂) und Methan (CH₄) und flüchtige Kohlenwasserstoffe sind brennbar, eignen sich bestens als Treibstoffe für Brennkraftmaschinen, sind wichtige Ausgangssubstanzen für viele chemische Herstellungsprozesse und sind damit wertvolle Nutzgase. Methan (CH₄) und reiner Kohlenstoff, beispielsweise in Form von mineralischem Graphit oder synthetischem Koks, sind nicht bzw. nicht mehr weiter pyrolysierbar.

Kohlenstoffhaltige Brennmaterialien lassen sich aber mit Vergasungsmitteln zu Nutzgasen umsetzen, beispielsweise Kohlenstoff mit einem Überschuss an O₂ zu CO, dann Kohlenstoff mit Wasser (H₂O) zu CO und H₂, dann CH₄ mit O₂ zu CO. Allerdings verlaufen die Vergasungsreaktionen von kohlenstoffhaltigem Brennmaterial mit H₂O endotherm. Als natürliches Vergasungsmittel dient insbesondere Luft, die auch mit H₂O, beispielsweise als Aerosol oder Dampf, angereichert sein kann. In der vorliegenden Erfindung wird daher unter einem Vergasungsmittel ein Reinstoff oder Stoffgemisch verstanden, dessen Zugabe zum kohlenstoffhaltigen Brennmaterial den Umsatz zu Nutzgasen erhöht.

Die Vergasung von kohlenstoffhaltigem Brennmaterial zu Nutzgas ist überwiegend erst dann wirtschaftlich, wenn das Brennmaterial nicht nur leicht verfügbar bzw. billig ist, sondern die Vergasung in ihrer Energiebilanz ausschließlich vom Energiegehalt des Brennmaterials abhängt. Dies betrifft insbesondere die Verwendung des Nutzgases als eigentlichen Brennstoff für Brennkraftmaschinen, beispielsweise für den Betrieb eines Gasmotors oder einer Gasturbine. Die Vergasung von kohlenstoffhaltigem Brennmaterial zu Nutzgas erfordert dann einen insgesamt exotherm ablaufenden Gesamtprozess, der sich solange energetisch selbst erhält, wie genügend Brennmaterial vorhanden ist. Zusätzlich lässt sich auch die abgegebene Wärme beispielsweise zum Heizen von Wohngebäuden nutzen, wie dies durch Kraft-Wärmekopplung in Blockheizkraftwerken (BHKW) erfolgt. In einem BHKW ist eine Brennkraftmaschine wiederum an einen Generator gekoppelt, der dann schließlich mechanische in elektrische Energie wandelt.

Die Verbrennung von kohlenstoffhaltigem Brennmaterial mit O_2 zu CO ist jedoch so schwach exotherm, dass die frei werdende Energie nicht ausreicht, gleichzeitig ablaufende Pyrolysen und / oder Vergasungsreaktionen mit H_2O dauerhaft aufrecht zu erhalten. Die für den gesamten Vergasungsprozess notwendige Energie muss daher durch die stark exotherme Verbrennungsreaktion von kohlenstoffhaltigem Brennmaterial mit O_2 zu CO_2 aufgebracht werden. Der höchst mögliche Wirkungsgrad bezüglich Nutzgas- und Wärmeausbeute einer solchen autothermen Vergasung wird bei einem Optimum erreicht, bei dem das Ausmaß der Verbrennung zu CO_2 gerade ausreicht, um für Pyrolysen und Vergasungsreaktionen den notwendigen Energiebeitrag zu liefern. Dieses Optimum im Sinne einer unvollständigen Verbrennung hängt von der Zusammensetzung und Beschaffenheit des Brennmaterials, der Zufuhr bzw. optimalen Dosierung des Vergasungsmittels, der Beschaffenheit sowie Isolierung des Vergasungsreaktors und damit zusammengefasst von der gesamten Reaktionsführung ab. Dabei ist die Veränderung des Brennmaterials während des gesamten Vergasungsprozesses ebenfalls zu berücksichtigen bzw. nicht zu vernachlässigen.

Im klassischen Festbettvergasungsreaktor liegt Holz als kohlenstoffhaltiges Brennmaterial wie in einem normalen Feuerofen auf einem Gitterrost. Im Gegenstromverfahren wird Luft als Vergasungsmittel durch den Gitterrost und das verbrennende Holz gesaugt. Die oberen Holzschichten verbrennen nur teilweise und pyrolysieren gleichzeitig zu Nutzgas, das am oberen Ende des Ofens abgesaugt wird. Luft und Nutzgas bewegen sich als Gegenstrom in entgegengesetzter Richtung zum langsam absinkenden Holz. Das entstehende Nutzgas hat eine relativ niedrige Temperatur von etwa $100\text{ }^\circ\text{C}$ und enthält wegen der stattfindenden Trocknung und Pyrolyse des Holzes entsprechend viel Wasserdampf und organische Bestandteile, die bei weiterer Abkühlung zu einem sauren Holzteer kondensieren.

Im Gleichstromverfahren zur Holzvergasung wird Luft als Vergasungsmittel unmittelbar über dem Gitterrost direkt in die heiße Vergasungsreaktionszone des im

Festbettvergasungsreaktors zugeführt und unter dem Gitterrost abgesaugt. Das Reaktorinnengas bzw. Nutzgas und Luft bewegen sich im Bereich des Gitterrostes in gleicher Richtung, also im Gleichstrom. Die Temperatur des Reaktorinnengases bzw. Nutzgases liegt hier wesentlich höher als beim Gegenstromverfahren. Das Nutzgas als Endprodukt aus dem Reaktorinnengas enthält deutlich weniger Holzteer, wobei der im Gleichstromverfahren anfallende Holzteer einen basischen pH-Wert aufweist.

Der im Gegenstrom- und im Gleichstromholzvergasungsverfahren anfallende Holzteer eignet sich nicht für Brennkraftmaschinen, sondern schädigt diese aufgrund seiner verklebenden Eigenschaften. Auch bei der Vergasung anderer kohlenstoffhaltiger Brennstoffe fallen ähnliche hochviskose Rückstände an, die in der vorliegenden Erfindung allgemein als Kondensat bezeichnet werden. Das anfallende Kondensat mindert nicht nur den Wirkungsgrad bezüglich Stoffverwertungsbilanz des Vergasungsreaktors, sondern muss aus dem Nutzgas durch eine Gaswäsche entfernt werden. Dies mindert zusätzlich die Energiebilanz der Gesamtanlage und benötigt zusätzlich Waschflüssigkeit, beispielweise Wasser. Da das Kondensat aufgrund seines pH-Wertes nicht nur korrosiv, sondern auch toxisch und schwer biologisch abbaubar ist, ergibt sich hier ein Entsorgungsproblem. In US 2010/0107494 A1 wird ein Festbettvergaser für Biomasse mit einer sukzessiven Brennstoffzuführung vorgeschlagen, der zwar bezüglich Brennstoffumsatzbilanz eine höhere Effizienz verspricht, jedoch nicht die Bildung von Kondensat eliminiert bzw. das anfallende Kondensat nicht im Vergasungsprozess weiter verwerten kann.

Ein Lösungsansatz für die Vergasung von kohlenstoffhaltigen, festen Brennmaterialien bieten Wirbelschichtvergasungsreaktoren, in denen die Brennmaterialien in einer unvollständigen Wirbelschichtfeuerung zu Nutzgasen umgesetzt werden. Hierbei fällt kein Kondensat an, da dieses ebenfalls zu Nutzgasen umgesetzt wird. Allerdings ist die Vergasung in Wirbelschichtvergasungsreaktoren auf feste Brennmaterialien mit einer Partikelgröße von weniger als 40 mm mit einem Wassergehalt von mindestens 25 Gew.% beschränkt, wobei die Partikel durch ein konstant wirbelndes Fluidmedium, beispielweise Luft, in Schwebelage gehalten wer-

den müssen. Zur Aufrechterhaltung der Wirbelschicht ist also eine externe Fluidzufuhr mit einer hohen Flussrate notwendig, was einer extern zugeführten Arbeit entspricht. Weiter können Wirbelschichtvergasungsreaktoren nicht autotherm, sondern nur allotherm, d.h. unter Zufuhr von äußerer Wärmeenergie betrieben werden. Die Gesamtzufuhr dieser beiden Energiearten ist vom Gesamtwirkungsgrad der Anlage abzuziehen. Diese Vergasungstechnik gestaltet sich nur bei Energieanlagen im Leistungsbereich von 1,5 bis 3 MW als wirtschaftlich, wobei der Gesamtwirkungsgrad bei nur ca. 30% liegt.

Eine besondere Form des Wirbelschichtvergasungsreaktors stellt der Winkler-Generator dar, bei dem die Wirbelschicht durch hintereinander gereihete Ringleitungen um den Reaktorkörper herum noch besser im gesamten Reaktorraum aufrechterhalten werden kann. Vorteile des Winkler-Generators sind eine homogene Temperaturverteilung und bessere Durchmischung der Partikel im Vergleich zu anderen Wirbelschichtvergasungsreaktoren. Der Winkler-Reaktor eignet sich jedoch nur für die Vergasung von Kohle, insbesondere Braunkohle, beschränkt auf eine möglichst kleine Partikelgröße.

Eine wesentliche Verbesserung des Wirbelschichtvergasungsreaktors ist durch den Flugstromvergasungsreaktor gegeben, bei dem das kohlenstoffhaltige Brennmaterial als Staub, Slurry oder als Paste über einen Brenner in den Vergasungsraum eingebracht wird. Hierbei finden die Vergasungsprozesse in einer Staubwolke statt. Diese Form der Zuführung bedarf einer entsprechenden Vorbehandlung des Brennmaterials, insbesondere bei Biomasse als Brennmaterial, um über ein pneumatisches System in den Vergaser eingebracht und dort in sehr kurzer Zeit vergast zu werden. Auch solche Systeme können nur unter Zufuhr von Arbeit sowie Wärmeenergie betrieben werden. Hierbei erfolgt die Zufuhr der Wärmeenergie durch eine kontinuierliche Zündung mit einer Zündfackel.

Der Koppers-Trotzek-Reaktor als besondere Form des Flugstromvergasungsreaktors eignet sich insbesondere für die Vergasung von fein gemahlener Kohle zu Nutzgase. Die Einspeisung des Kohlestaubes erfolgt seitlich mit hoher Geschwindigkeit, so dass nur eine einmalige Zündung benötigt wird und der Vergasungs-

prozess ansonsten autotherm geführt werden kann. Allerdings benötigt der Betrieb des Koppers-Trotzek-Reaktors immer noch die Zufuhr von Arbeit zur Aufrechterhaltung des Flugstromes.

Sowohl bei den verschiedenen Ausführungen des Wirbelschichtvergasungsreaktors als auch bei denen des Flugstromvergasungsreaktors können die Vergasungsprozesse nicht allein durch die Zufuhr von Brennmateriale aufrechterhalten werden. In allen Ausführungen dieser Reaktortypen ist der Gesamtwirkungsgrad durch die notwendige Zufuhr von Arbeit zur Aufrechterhaltung des Wirbel- bzw. Flugstromes auf maximal 30 bis 40% beschränkt. Nach dem Stand der Technik sind Festbettvergasungsreaktoren mit Gleich- oder Gegenstromprinzip, Wirbelschicht- und Flugstromvergasungsreaktoren auf spezifische Beschaffenheit des kohlenstoffhaltigen Brennmateriale beschränkt, wobei grundsätzlich eine Vorbehandlung des jeweiligen kohlenstoffhaltigen Brennmateriale erforderlich ist. Auch notwendige Vorbehandlungen des Brennmateriale schränken die Wirtschaftlichkeit von Vergasungsanlagen, insbesondere von BHKW, erheblich ein. Zwar beschränkt sich in Festbettvergasungsreaktoren im Vergleich zu den Wirbelschicht- und Flugstromvergasungsreaktoren die Zufuhr von äußerer Arbeit lediglich auf die des kohlenstoffhaltigen Brennmateriale und des Vergasungsmittels, jedoch ist die Einhaltung optimaler Bedingungen für die Pyrolyse- als auch Vergasungsreaktionen generell schwieriger. Bei Festbettvergasungsreaktoren mit Gleich- oder Gegenstromprinzip ist die Festlegung auf eine vorgegebene Brennstoffqualität und Stückgröße, beispielsweise auf sogenannte G50-Holzhackschnitzel, besonders nachteilig. Abweichungen davon, insbesondere in der Stückigkeit, im Wassergehalt und im Staubanteil, verursachen variierende Druck- und Temperaturbedingungen. Solche Abweichungen erfordern dann beispielsweise eine überhöhte Zufuhr von Luft als Vergasungsmittel. Dies führt zu einer starken Verdünnung des Nutzgases durch Luftstickstoff und Wasserdampf sowie einer vermehrten Bildung von mitgeschlepptem Kondensat. Qualität und Ausbeute des Nutzgases sind dann so weit herabgesetzt, dass vor dessen Verwertung eine aufwändige Gaswäsche erfolgen muss. Eine erhöhte Bildung von Kondensat erniedrigt nicht nur signifikant den Gesamtwirkungsgrad der Anlage, sondern führt auch zu Verstopfungen im Reaktor, was zu einem kompletten Ausfall der gesamten Anlage führen kann. Zu-

sätzlich ist die Reinigung von Festbettvergasungsreaktoren von Kondensat sehr aufwändig.

Aufgabe und Lösung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Wirkungsgrad eines Vergasungsreaktors für die Vergasung von kohlenstoffhaltigem Brennmaterial zu Nutzgasen bezüglich Nutzgas- und Wärmeausbeute sowie dessen Betriebsstabilität durch ein entsprechendes Betriebsverfahren zu verbessern. Diese Aufgabe ist durch die Merkmalskombination des Anspruchs 1 in erfinderischer Weise gelöst. Die rückbezogenen Ansprüche beinhalten teilweise vorteilhafte und teilweise für sich selbst erfinderische Weiterbildungen der Erfindung.

Der Erfindung liegt ein Vergasungsreaktor mit einer Reaktionskammer für die Vergasung von kohlenstoffhaltigem Brennmaterial durch Zugabe von Vergasungsmitteln zu Nutzgasen zugrunde. In der Reaktionskammer liegt das kohlenstoffhaltige Brennmaterial ein. Bei festen Brennmaterialien kann eine kontinuierliche Zuführung über ein mit der Reaktionskammer verbundenes Reservoir erfolgen. Der Umsatz zu den Nutzgasen als Summe aller einzelnen Pyrolyse- als auch Vergasungsreaktionen findet daher überwiegend in der Reaktionskammer statt. Der erfindungsgemäße Vergasungsreaktor kann auch vollständig als Reaktionskammer ausgeführt sein.

Als wesentliches Merkmal der Erfindung werden nach Anspruch 1 Zusammensetzung, Menge, Druck, Geschwindigkeit, Temperatur und/oder spezifischer Austrittspuls eines über Regelungseingänge der Reaktionskammer zugegebenen Vergasungsmittels variabel anhand einer Anzahl von in der Reaktionskammer ermittelten Regelgrößen gesteuert. Dadurch ist eine variable Anpassung des Betriebs an die jeweils vorliegenden Zustände im Reaktor möglich und es kann eine optimierte Vergasung des Brennmaterials erfolgen.

Als weiteres wesentliches Merkmal wird die Zusammensetzung, und zwar insbesondere der Heizwert des Nutzgases als Regelgröße verwendet. Dieser wird im Wesentlichen vom Anteil des der Reaktionskammer zugeführten Wasserdampfs beeinflusst. Durch Reduktion werden aus Wasser und Kohlenstoff Wasserstoff und Kohlenmonoxid erzeugt, welche einen hohen Heizwert haben. So kann z.B. bei einem zu geringen Heizwert des Nutzgases die Zufuhr von Wasserdampf im Vergasungsmittel erhöht werden.

In alternativer oder zusätzlicher Ausgestaltung wird der Volumenstrom des Nutzgases als Regelgröße verwendet. Dieser wird ebenfalls vom Anteil des der Reaktionskammer zugeführten Wasserdampfs beeinflusst, zusätzlich aber auch von der Gesamtmenge des zugeführten Vergasungsmittels. Eine höhere Menge von Vergasungsmittel erhöht nämlich das Gasvolumen in der Reaktionskammer und damit auch den Volumenstrom an deren Austritt.

In weiterer alternativer oder zusätzlicher Ausgestaltung wird der jeweilige Druck in einem Reservoir für das Brennmaterial, in der Reaktionskammer und/oder in einem Gasaustritt als Regelgröße verwendet. So wird z.B. der Druck in der Reaktionskammer im Wesentlichen von der Gesamtmenge des zugeführten Vergasungsmittels, aber auch von der jeweiligen Verteilung des Vergasungsmittels über die verschiedenen Regelungseingänge beeinflusst.

Vorteilhafterweise weist die Reaktionskammer dabei mehrere Regelungseingänge auf und Zusammensetzung, Menge, Druck, Geschwindigkeit, Temperatur und/oder spezifischer Austrittspuls des über den jeweiligen Regelungseingang zugegebenen Vergasungsmittels werden mindestens teilweise unabhängig von den jeweils anderen Regelungseingängen gesteuert werden. Im Betrieb des Vergasungsreaktors sind folglich mehrere, im Idealfall jede Position innerhalb der Reaktionskammer durch diese Regelungseingänge zugänglich. Jeder einzelne Regelungseingang definiert damit eine Reaktionszone, alle Reaktionszonen bilden dabei den Reaktionsraum, der die Reaktionskammer vollständig ausfüllt.

Da die Regelungseingänge mindestens teilweise voneinander unabhängig gesteuert sind, ist in jeder Reaktionszone des Reaktionsraumes die Zugabe von Vergasungsmittel bezüglich dessen Zusammensetzung, Geschwindigkeit, Temperatur, Druck und Menge sowie hinsichtlich des spezifischen Austrittsimpulses zeitlich variabel.

Konstruktiv kann dies dadurch realisiert sein, dass die Seitenwände der Reaktionskammer mit einer Vielzahl von solchen Regelungseingängen durchsetzt sind oder dass in die Reaktionskammer eine Halterung mit einer Vielzahl von eingelassenen Regelungseingängen hineinragt. Je nach überwiegender Beschaffenheit des kohlenstoffhaltigen Brennmaterials im Zusammenspiel mit der Geometrie der Reaktionskammer, insbesondere wenn der Durchmesser der Reaktionskammer größer als deren Höhe ist, erweist sich die Kombination beider konstruktiver Möglichkeiten zur Anordnung der Regelungseingänge als vorteilhaft, wodurch die Zugänglichkeit des gesamten Reaktionsraumes gewährleistet ist.

Während des gesamten Vergasungsprozesses verändert sich die Beschaffenheit des Brennmaterials. Insbesondere bei der Vergasung von festen, kohlenstoffhaltigen Brennmaterialien in einem erfindungsgemäß ausgeführten Gleichstrom-Festbettvergasungsreaktor bildet sich im Fortgang des Vergasungsprozesses ein vom unteren zum oberen Teil der Reaktionskammer vertikal abnehmender Verkohlungsgradient aus. Daher wird im fortschreitenden Vergasungsprozess in die unteren Reaktionszonen zur Vergasung der entstandenen Reinkohle vermehrt Wasserdampf zusammen mit dem heißen Reaktorinnengas zugeführt. Hierbei kann CO_2 ab 600°C selbst als Vergasungsmittel aufgefasst werden, da dann dessen Gleichgewichtsreaktion mit Kohlenstoff nach Boudouard zu 23% auf der Seite von CO liegt. Zusammengefasst umfassen daher die Vergasungsmittel mindestens eine der Komponenten O_2 oder H_2O , wobei das Vergasungsmittel CO_2 während des Vergasungsprozesses selbst erzeugt wird.

Da der Vergasungsprozess von festen, kohlenstoffhaltigen Brennmaterialien in erfindungsgemäß ausgeführten Gleichstrom-Festbettvergasungsreaktoren durch

einen überwiegend vertikal verlaufenden Reaktionsverlaufgradienten bestimmt ist, ist eine konstruktive Vereinfachung möglich. Diese konstruktive Vereinfachung besteht darin, dass die Regelungseingänge dadurch horizontal zu flächigen, aber voneinander unabhängigen, Reaktionszonen zusammengefasst sind, indem diese horizontal durch Ringleitungen verbunden vorliegen, die wiederum den Vergasungsreaktor bzw. die Reaktionskammer umlaufen. Hierbei ist wiederum in jeder flächigen Reaktionszone des Reaktionsraumes die Zugabe von Vergasungsmittel bzw. die Rückführung des Reaktorinnengases bezüglich Zusammensetzung, Temperatur sowie Druck und damit Menge zeitlich variabel.

In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung des Verfahrens wird zusätzlich auch die die der Reaktionskammer zugeführte Menge des kohlenstoffhaltigen Brennmaterials variabel anhand einer Anzahl von im Vergasungsreaktor ermittelten Regelgrößen gesteuert. Dies ermöglicht eine weitere Beeinflussung der Parameter innerhalb der Reaktionskammer durch extern steuerbare Größen.

Vorteilhafterweise wird eine Temperatur in der Reaktionskammer als Regelgröße verwendet. Hier kann, wie oben dargestellt, vorteilhafterweise auch eine Mehrzahl von Temperaturen in verschiedenen Bereichen, z.B. den beschriebenen Reaktionszonen verwendet werden. Dabei werden vorteilhafterweise Zusammensetzung, Menge, Druck, Geschwindigkeit, Temperatur und/oder spezifischer Austrittspuls des über den jeweiligen Regelungseingang zugegebenen Vergasungsmittels anhand der Temperatur in der Reaktionskammer an dem jeweiligen Regelungseingang als Regelgröße gesteuert. In jeder Reaktionszone beeinflusst die jeweilige Temperatur nämlich wesentlich die Art der Reaktionen, die in der jeweiligen Zone ablaufen. Höhere Temperaturen ermöglichen z.B. die Verbrennung von Kohlenstoffrückständen, während vergleichsweise niedrigere Temperaturen die Bildung von Nutzgasen verbessern. Beeinflussbar ist die Temperatur in der jeweiligen Reaktionszone durch den Vordruck, Temperatur und den Anteil des Wasserdampfs des am jeweiligen Regelungseingang zugeführten Vergasungsmittels. Werden Druck und Temperatur des zugeführten Vergasungsmittels erhöht, erhöht sich auch die Temperatur in diesem Bereich, während die Erhöhung des Wasser-

dampfanteils eine Erniedrigung der Temperatur durch Wärmeenergie verbrauchende Reduktionsvorgänge bedeutet.

Insbesondere sollte hierbei in vorteilhafter Ausgestaltung die Druckdifferenz über eine gasdurchlässige Rückhaltevorrichtung zwischen der Reaktionskammer und einem Aschekasten des Vergasungsreaktors als Regelgröße verwendet werden. Eine Erhöhung der Druckdifferenz deutet hier nämlich auf eine Verstopfung der Rückhaltevorrichtung mit Kohlenstoffresten hin. Diese Kohlenstoffreste entstehen insbesondere bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen, die wiederum durch einen hohen Wasserdampfanteil im Vergasungsmittel erzeugt werden. Einer Erhöhung der Druckdifferenz sollte hier also durch eine Reduzierung des Wasserdampfanteils entgegengewirkt werden.

In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung werden die Zusammensetzung, Feuchtigkeit, Stückigkeit und/oder Staubgehalt des Brennmaterials als Regelgrößen verwendet. Durch eine Erfassung dieser Größen können die jeweiligen Parameter innerhalb der Reaktionskammer optimal auf das verwendete Brennmaterial angepasst werden. Somit ist ein derartig betriebener Vergasungsreaktor für eine Vielzahl unterschiedlicher Brennmaterialien geeignet.

Zusammengefasst erlaubt das erfindungsgemäße Verfahren eine optimale und beschleunigte Reaktionsführung des Vergasungsprozesses bezüglich Nutzgasausbeute in seinem gesamten Zeitablauf durch die geregelte, örtlich variierte und dem Verlauf angepasste Zufuhr von Vergasungsmittel. Selbst bei der Verwendung von festen, kohlenstoffhaltigen Brennmaterialien, wie beispielsweise Biomasse, wird die Bildung von Kondensat vermieden, da die Aufenthaltszeit der Kohlenwasserstoffe durch die Regelung des Prozesses so lang wie möglich gemacht werden kann, damit die Crackung der Kohlenwasserstoffe (Teere) in möglichst kleine Stücke erfolgen kann. Weiterhin sorgt die Regelung des Prozesses dafür, dass die Temperaturen in den durchströmten räumlichen Bereichen gleichmäßig hoch sind damit die Crackreaktion des Kondensats möglichst schnell abläuft.

Die zeitlich und örtlich individuell dosierte Zugabe von Vergasungsmitteln in dem der Erfindung zugrundeliegenden Vergasungsreaktor ersetzt die beim Winkler-Generator notwendige, äußerst energieaufwändige Erhaltung der Wirbelschicht für eine optimale und kondensatfreie Vergasung der Brennstoffe. Weiter benötigt ein nach der Erfindung betriebener Vergasungsreaktor keine kontinuierliche Zündung des mit ihm betriebenen Brennmaterials, beispielsweise durch eine Zündfackel.

Das erfindungsgemäße Verfahren verbindet die Vorteile von Wirbel- und Flugstromvergasungsreaktoren mit denen von Festbettvergasungsreaktoren, wobei nur ein Bruchteil an externer Arbeit zur Zuführung des Vergasungsmittels und Rückführung des Reaktorinnengases im Vergleich zur Erhaltung einer Wirbelschicht oder eines Flugstromes zugeführt werden muss. Für diese externe Arbeit reicht ein Bruchteil des erzeugten Nutzgases aus. Das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzeugte Nutzgas kann einer Brennkraftmaschine zugeführt werden, die wiederum an einen Generator gekoppelt ist. Die zur Regelung des Reaktors notwendige Arbeit wird dann durch einen Bruchteil der durch den Generator gewandelten elektrischen Energie geleistet. Damit hängt die Leistung des erfindungsgemäß betriebenen Reaktors ausschließlich vom chemischen Energiegehalt des kohlenstoffhaltigen Brennmaterials ab. Das Verfahren gewährt insgesamt einen stabilen und vollständig autothermen Betrieb des erfindungsgemäßen Vergasungsreaktors mit einem hohen Gesamtwirkungsgrad, insbesondere als Teilsystem eines BHKW.

Schließlich ist das erfindungsgemäße Verfahren gegenüber allen Ausführungen von Wirbel- und Flugstromvergasungsreaktoren dadurch besonders vorteilhaft herausgestellt, dass jede Art und Form von kohlenstoffhaltigem Brennmaterial im beliebigen Aggregatzustand zur Vergasung verwandt werden kann. Beispielsweise kann ein erfindungsgemäß gestalteter Gleichstrom-Festbettreaktor zusätzlich eine Gaseinspeisungsvorrichtung in der Reaktionskammer besitzen. Auch Kunststoffabfälle und Hausmüll als Beispiel für äußerst inhomogene Mischungen von kohlenstoffhaltigen Brennmaterialien lassen sich mit einem hohen Gesamtwirkungsgrad in einem erfindungsgemäßen Gleichstrom-Festbettreaktor vergasen.

Während des Betriebs des erfindungsmäßig betriebenen Vergasungsreaktors ist die Variation von verfahrenstechnischen Merkmalen möglich. Zunächst ist es möglich, die Anzahl der Reaktionszonen zu variieren. Die zunächst voneinander unabhängigen Regelungseingänge können so gesteuert sein, dass sie entweder eine einzige Gesamtreaktionszone bilden oder mehrere beliebig einteilbare Teilreaktionszonen. Sind beispielsweise die Regelungseingänge mittels horizontal über die Reaktionskammer umlaufender Ringleitungen zu flächigen unabhängigen Reaktionszonen zusammengefasst, können die voneinander unabhängigen Reaktionszonen gleichsam parallel betrieben werden und so zu einer größeren Reaktionszone zusammengefasst werden.

Diese Variation der Geometrie von Reaktionszonen kann auch durch die Änderung, Menge und Zusammensetzung des Vergasungsmittels in radialer Richtung realisiert sein. Auf diese Weise werden inaktive, „kalte“ Innenbereiche vermieden. Der gesamte Reaktionsraum wird auf diese Weise prozesstechnisch aktiviert. Schließlich ist es möglich, die jeweilige chemische Reaktion in den einzelnen Reaktionszonen zu variieren. Durch die Änderung der in der jeweiligen Reaktionszone stattfindenden Reaktion kann die Schichtung bzw. die Abfolge der Reaktionszonen im Betrieb geändert werden. Es besteht also die Möglichkeit, die Reaktionen im Betrieb des Reaktors an beliebigen Stellen im Reaktionsraum zu wechseln, zu ändern, räumlich auszudehnen oder zu beschleunigen.

Beispielhaft sei das Aufschmelzen des Festbrennstoffs in leicht flüchtiges Pyrogas, Holzkohle, Wasser, höherkettige Kohlenwasserstoffe, also eine so genannte Pyrolysereaktion, erwähnt. Ziel ist es, mit möglichst wenig Luftzufuhr einen hohen Wärmeeintrag zu erreichen. Dies geschieht durch Vorwärmung des Vergasungsmittels, durch Zufuhr von überhitztem Wasserdampf und durch externe Vorwärmung des Festbrennstoffs.

Ein Umschalten der Zonenreaktion von Pyrolyse im Festbrennstoff auf Oxidation im Kohlebett stellt sich ein, wenn nach dem Befüllen und während des Anfahrens des Reaktors die unteren Zonen zunächst mit Festbrennstoff gefüllt sind und pyro-

lytisch betrieben werden. Nach der Ausgasung der flüchtigen Pyrogase wird die Zone sodann in den oxidativen oder reduktiven Betrieb umgeschaltet.

Die Gasphasenreaktion kann sowohl oxidativ in den durch Zwischenböden erzeugten festbrennstofffreien und kohlefreien Bereichen stattfinden. Die Gasphasenreaktion kann durch starke Erhöhung der Geschwindigkeit der Vergasungsmittel durch Zufuhr mittels regelbarer Düsen ohne Erhöhung des Massenstroms anteilig vermindert werden, sofern der Strom, so genannter „scharfer Strahl“, auf das hinter dem Hohlraum liegende Kohlebett trifft.

Des Weiteren ist es möglich, überwiegend mit Oxidation bzw. überwiegend mit Reduktion im Kohlebett zu variieren. Auch ist es möglich, Oxidation und Reduktion gleichzeitig im selben Raumvolumen im Kohlebett zu realisieren. Auch ist es möglich, Oxidation und Reduktion alternierend im selben Raumvolumen im Kohlebett zu betreiben. Dies erfolgt durch Beschickung einer Zone mit Luft unter Freisetzung von Wärme. Anschließend wird dieselbe Zone mit Wasserdampf beschickt und erzeugt so eine Wassergasreaktion unter Verbrauch von Wärme. Der Wechsel beider Reaktionen erfolgt im Betrieb intermittierend.

Schließlich kann die Reaktionsgeschwindigkeit in den Reaktionszonen variiert werden. Zum Beispiel wird bei der Pyrolyse durch Reduzierung der Vergasungsmittelzufuhr die Pyrolysereaktion gestoppt und stark verringert. Gleichzeitig wird die Vergasungsmittelzufuhr im Kohlebett gesteigert. Die Reduzierung der Vergasungsmittelzufuhr kommt einer Verkleinerung ihrer Geometrie gleich und/oder einer Verringerung der Reaktionsgeschwindigkeit in dieser Zone. Die Steigerung der Vergasungsmittelzufuhr ist mit einer Vergrößerung ihrer Geometrie verbunden und/oder mit einer Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeiten der darin ablaufenden Reaktionen, so dass der Kohlenstoff oxidativ oder reduktiv abgebaut wird. Die Pyrozone wird geometrisch verkleinert bzw. in ihrer Intensität reduziert, während die Reaktionszonen zum Kohleabbau vergrößert, bzw. in ihrer Intensität gesteigert werden. Schließlich kann die Menge, die Zusammensetzung, die Temperatur oder der Druck des Vergasungsmittels in den Reaktionszonen variiert werden. Eine Variation der Menge des Vergasungsmittels wirkt sich im Wesentlichen auf die

Reaktionsgeschwindigkeit und zum Teil auch auf die Art der Reaktion aus. Die Zusammensetzung des Vergasungsmittels wirkt sich ebenso auf die Art der Reaktion aus. Die Temperaturvariation bewirkt eine Änderung der Reaktionsgeschwindigkeit. Eine Variation des Drucks wirkt sich wiederum auf Geschwindigkeit und Menge des Vergasungsmittels aus. Eine – möglichst weitgehende - Entkoppelung sämtlicher Einflussgrößen wird über regelbare Düsen erreicht.

Die Erfindung wird anhand zweier Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnungsfiguren näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 einen Vergasungsreaktor mit Ringleitungen,
- Fig. 2 einen Vergasungsreaktor mit zentraler igelartiger Zuleitung und
- Fig. 3 eine schematische Darstellung der Regel- und Steuergrößen mit ihrer gegenseitigen Beeinflussung.

Gleiche Teile sind stets mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Das Ausführungsbeispiel in Fig. 1 bezieht sich auf einen Vergasungsreaktor 1, der insbesondere zur Vergasung von festem kohlenstoffhaltigem Brennmaterial ausgelegt ist. Dazu ist der Vergasungsreaktor 1 als Festbettreaktor nach dem Gleichstromprinzip ausgeführt. Der Vergasungsreaktor nach Fig. 1 eignet sich zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Der Vergasungsreaktor 1 weist einen durchlässigen Zwischenboden 2 auf, der den Vergasungsreaktor 1 in ein oberes Reservoir 3 und in eine untere Reaktionskammer 4 unterteilt. Ein weiterer durchlässiger Zwischenboden 5 trennt die Reaktionskammer 4 vom Aschekasten 6 als untersten Teilraum des gesamten Vergasungsreaktors 1 ab. Eine gasdurchlässige Rückhaltevorrichtung 7 in Form eines Rostes zwischen der Reaktionskammer 4 und dem Aschekasten 6 stellt einen Verbleib des Brennmaterials in der Reaktionskammer 4 sicher. An dem Aschekasten 6 ist ein Gasaustritt 8 angebracht. Über das Reservoir 3 wird das kohlenstoffhaltige, feste Brennmaterial der Reaktionskammer 4 zugeführt, das Nutzgas wird über den Gasaustritt 8 abgeführt. Nach dem Befüllen von Reservoir 3 und Reakti-

onskammer 4 mit dem kohlenstoffhaltigen, festen Brennmaterial wird der Vergasungsreaktor in den unteren Reaktionszonen einmalig gezündet und dann durch Luftzufuhr angefahren.

Die Seitenwand 9 der Reaktionskammer 4 des Vergasungsreaktors 1 ist mit einer Vielzahl von Regelungseingängen 10 in der Weise durchsetzt, dass im Betrieb des Vergasungsreaktors jede Position innerhalb der Reaktionskammer 4 durch die Regelungseingänge 10 zugänglich ist. Die Regelungseingänge 10 sind horizontal über die Reaktionskammer umlaufende Ringleitungen 11 zu flächigen, aber voneinander unabhängigen Reaktionszonen zusammengefasst. Durch die jeweiligen voneinander unabhängigen Ringleitungen 11 ist dann über die via Stegverbindungen 12 zusammengefassten Regelungseingänge 10 die Zugabe von Vergasungsmittel bzw. die Rückführung des Reaktorinnengases bezüglich Zusammensetzung, Temperatur sowie Druck und damit Menge gesteuert. Die Steuerung ist für jede flächige Reaktionszone individuell.

Das Reservoir 3 des Vergasungsreaktors 1 besitzt einen größeren Durchmesser und ein größeres Volumen als die Reaktionskammer 4, wobei die Durchlässigkeit des Zwischenbodens 2 durch eine Öffnung mit einem Durchmesser gegeben ist, der kleiner als der des Reservoirs 3 und der der Reaktionskammer 4, aber größer als der Öffnung des Zwischenbodens 5 ist. Der Reaktor mit seinem Reservoir 3, der Reaktionskammer 4 und mit seinem Aschekasten 6 sind zylinderförmig ausgestaltet, die Öffnungen der Zwischenböden 2 und 5 kreisförmig. Diese Ausgestaltung des Vergasungsreaktors 1 erlaubt dessen Einbettung in eine vollumschließende Isolierung, wodurch der Reaktorwirkungsgrad zusätzlich erhöht wird. Bezüglich der Stabilität in seiner Konstruktion ist der Vergasungsreaktor 1 so ausgelegt, dass er einer Verpuffung der Vergasungsprodukte als auch des Brennmaterials standhält.

Der Vergasungsreaktor 1 gemäß Fig. 2 weist ebenfalls ein oberes Reservoir 3 und einen durchlässigen Zwischenboden 2 auf. Die Reaktionskammer 4 wird beschickt von igelförmig angeordneten Düseneingängen 13. Die Düseneingänge 13 bilden beim Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 die Regelungseingänge 10 des Verga-

sungsreaktors 1. Im Ubrigen entspricht der Vergasungsreaktor 1 gemäß Fig. 2 in seinem Aufbau demjenigen in Fig. 1.

Die über die Regelungseingänge 10 des Vergasungsreaktors ermittelten Regelgrößen zusammen mit den sie beeinflussenden Steuergrößen bezüglich des Vergasungsmittels sind in Fig. 3 dargestellt. Durch die Regelung direkt beeinflussbare Steuergrößen sind hier die Vergasungsmittelgesamtmenge 20, der Vordruck 22 des Vergasungsmittels an den Düsen- bzw. Regelungseingänge 10, 13, die jeweilige Verteilung 24 des Vergasungsmittels auf die einzelnen Düsen- bzw. Regelungseingänge 10, 13, die einer räumlichen Verteilung entspricht, die Temperatur 26 des Vergasungsmittels und der Wasserdampfanteil 28 im Vergasungsmittel.

Als im Reaktor 1 gemessene Regelgrößen werden erfasst: der Volumenstrom 30 des erzeugten Nutzgases, der Differenzdruck 32 über den unteren Zwischenboden 5, die chemische Nutzgaszusammensetzung 34, der Druck 36 in der Reaktionskammer 4, die Temperatur 38 in der Reaktionskammer 4 am jeweiligen Regelungseingang 10 sowie die Art der ablaufenden Reaktionen 40. Letztere kann typischerweise nicht direkt gemessen werden sondern ist lediglich als abgeleitete Regelgröße ermittelbar.

Fig. 3 stellt nun die jeweiligen Zusammenhänge zwischen Regel- und Steuergrößen dar, wie sie in dem Verfahren gemäß der Erfindung bedarfsweise verwendet werden: Der Volumenstrom 30 des Nutzgases wird von der Vergasungsmittelgesamtmenge 20 beeinflusst, da vermehrt zugeführtes gasförmiges Vergasungsmittel über einen Verstärkungsfaktor den Volumenstrom des Nutzgases erhöht. Weiterhin wird dieser vom Wasserdampfanteil 28 im Vergasungsmittel beeinflusst, da eingeführter Wasserdampf reduktiv gespalten wird und so eine Erhöhung des Volumens und somit des Volumenstroms 30 des austretenden Nutzgases bewirkt.

Der Differenzdruck 32 über den Zwischenboden 5, der gasdurchlässig ist, ist im Wesentlichen ein Indikator für eine verstärkte Ablagerung von Kohlenstoffresten, die den Gasdurchsatz des Zwischenbodens 5 blockieren. Kohlenstoffreste fallen bei niedrigeren Temperaturen an, wenn der Kohlenstoff nicht verbrannt wird.

Dies ist insbesondere der Fall bei einem hohen Wasserdampfanteil 28. Somit beeinflusst der Wasserdampfanteil 28 den Differenzdruck 32. Wird die Verteilung 24 des zugeführten Vergasungsmittels derart geändert, dass an Regelungseingängen 10 im Bereich des Zwischenbodens 5 mehr Vergasungsmittel eingebracht wird und sich die Temperatur hier erhöht, so wird der angefallene Kohlenstoff verbrannt und der Differenzdruck 32 sinkt.

Die Gaszusammensetzung des Nutzgases 34 hängt im Wesentlichen vom Anteil des Wasserdampfes 28. Eine höhere Menge Wasserdampf führt zu einem höheren Anteil von Wasserstoff im Nutzgas.

Der Druck 36 in der Reaktorkammer 4 sollte nicht zu weit vom Umgebungsdruck abweichen. Er wird im Wesentlichen beeinflusst von der Gesamtmenge 20 des zugeführten Vergasungsmittels, weiterhin von der räumlichen Verteilung 24 des Vergasungsmittels.

Die Temperaturen 38 in den verschiedenen Bereichen der Reaktorkammer 4 wird vor allem von der räumlichen Verteilung 24 des Vergasungsmittels beeinflusst, aber auch von Vordruck 22 und Temperatur 24 des Vergasungsmittels, sowie dem Wasserdampfanteil 28 im Vergasungsmittel, wie oben erläutert.

Die Art der ablaufenden chemischen Reaktionen 40 wird ebenfalls, wie bereits erläutert, im Wesentlichen durch den Wasserdampfanteil 28 im Vergasungsmittel bestimmt, weiterhin auch durch die Temperatur des eingeführten Vergasungsmittels.

Die Regelung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren berücksichtigt nun die im Reaktor 1 aufgenommenen Regelgrößen und stellt die Steuergrößen demnach für eine optimierte Vergasung ein. Der Vergasungsreaktor 1, betrieben mit einem Verfahren unter Regelung der beschriebenen Größen in diesem Ausführungsbeispiel ist für ein BHKW, also für die Wärme- und Stromversorgung ausgelegt. Durch thermische Integration aller Teilsystemeinheiten der Gesamtanlage wird durch Kraft-Wärme-Kopplung ein Gesamtwirkungsgrad von >90% erreicht.

Bezugszeichenliste

- 1 Vergasungsreaktor
- 2 Zwischenboden
- 3 Reservoir
- 4 Reaktionskammer
- 5 Zwischenboden
- 6 Aschekasten
- 7 Rückhaltevorrichtung
- 8 Gasaustritt
- 9 Seitenwand
- 10 Regelungseingang
- 11 Ringleitung
- 12 Stegverbindung
- 13 Düseneingang
- 20 Vergasungsmittelgesamtmenge
- 22 Vordruck
- 24 Verteilung
- 26 Temperatur
- 28 Wasserdampfanteil
- 30 Volumenstrom
- 32 Differenzdruck
- 34 Nutzgaszusammensetzung
- 36 Druck
- 38 Temperatur
- 40 Reaktionsart

Ansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Vergasungsreaktors (1) mit einer Reaktionskammer (4) für die autotherme und/oder allotherme Vergasung von kohlenstoffhaltigem Brennmateriel zu Nutzgasen, wobei Zusammensetzung (28), Menge (20), Druck (22), Geschwindigkeit, Temperatur (26) und/oder spezifischer Austrittspuls eines über Regelungseingänge (10) der Reaktionskammer (4) zugegebenen Vergasungsmittels variabel anhand einer Anzahl von in der Reaktionskammer (4) ermittelten Regelgrößen (30, 32, 34, 36, 38, 40) gesteuert werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Zusammensetzung (34) des Nutzgases und/oder der Volumenstrom (30) des Nutzgases und/oder der jeweilige Druck (36) in einem Reservoir (3) für das Brennmateriel, in der Reaktionskammer (4) und/oder in einem Gasaustritt (8) als Regelgröße (30, 32, 34, 36, 38, 40) verwendet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass die Reaktionskammer (4) mehrere Regelungseingänge (10) aufweist und Zusammensetzung (28), Menge (20), Druck (22), Geschwindigkeit, Temperatur (26) und/oder spezifischer Austrittspuls des über den jeweiligen Regelungseingang (10) zugegebenen Vergasungsmittels mindestens teilweise unabhängig von den jeweils anderen Regelungseingängen (10) gesteuert werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet dadurch,

dass die der Reaktionskammer (4) zugeführte Menge des kohlenstoffhaltigen Brennmateri als variabel anhand einer Anzahl von im Vergasungsreaktor (1) ermittelten Regelgrößen (30, 32, 34, 36, 38, 40) gesteuert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
gekennzeichnet dadurch,
dass eine Temperatur (38) in der Reaktionskammer (4) als Regelgröße (30, 32, 34, 36, 38, 40) verwendet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4,
gekennzeichnet dadurch,
dass Zusammensetzung (28), Menge (20), Druck (32), Geschwindigkeit, Temperatur (26) und/oder spezifischer Austrittspuls des über den jeweiligen Regelungseingang (10) zugegebenen Vergasungsmittels anhand der Temperatur (38) in der Reaktionskammer (4) an dem jeweiligen Regelungseingang (10) als Regelgröße (30, 32, 34, 36, 38, 40) gesteuert werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
gekennzeichnet dadurch,
dass die Druckdifferenz (32) über eine gasdurchlässige Rückhaltevorrückung (7) zwischen der Reaktionskammer (4) und einem Aschekasten (6) des Vergasungsreaktors (1) als Regelgröße (30, 32, 34, 36, 38, 40) verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem Zusammensetzung, Feuchtigkeit, Stückigkeit und/oder Staubgehalt des Brennmateri als Regelgrößen (30, 32, 34, 36, 38, 40) verwendet werden.
8. Vergasungsreaktor (1) mit Mitteln zum Ausführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

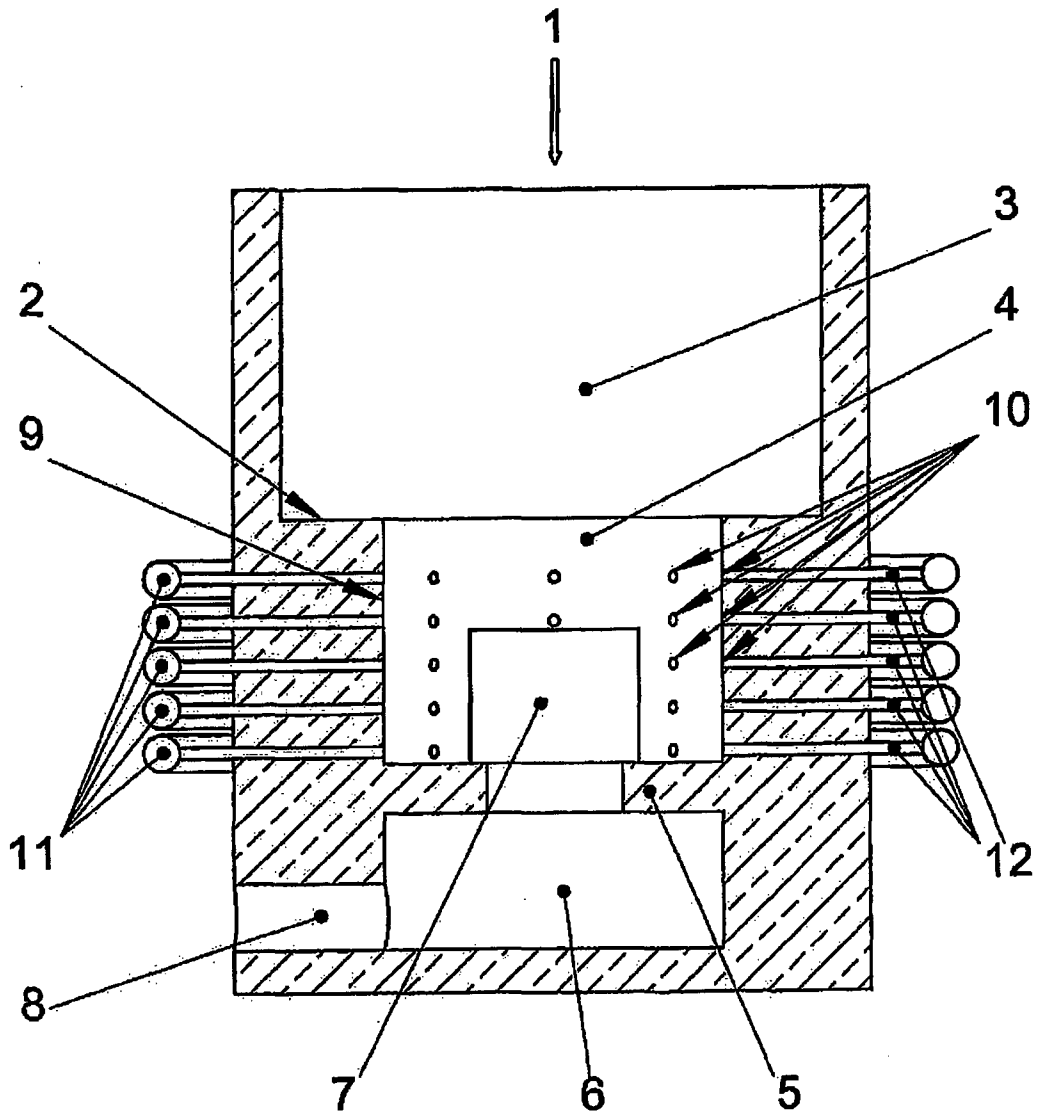


Fig. 1

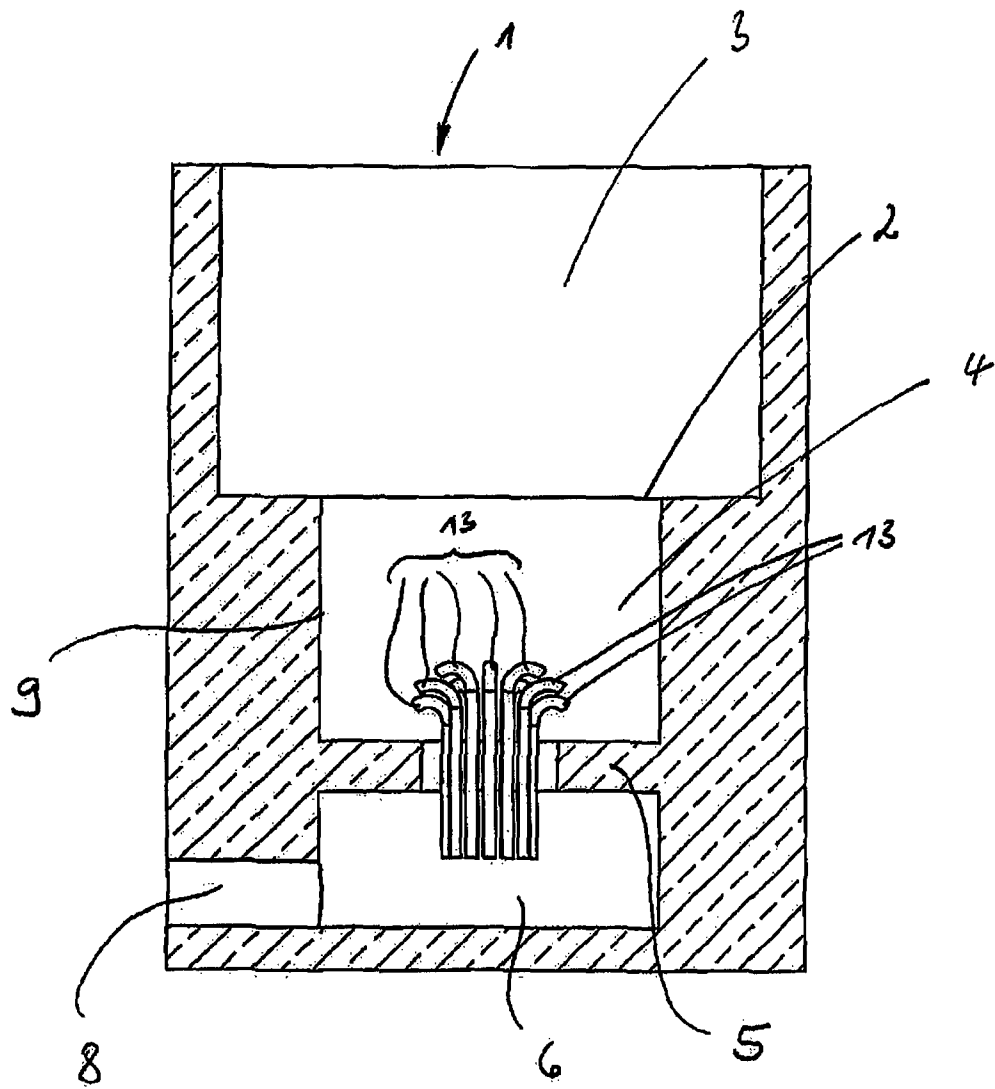
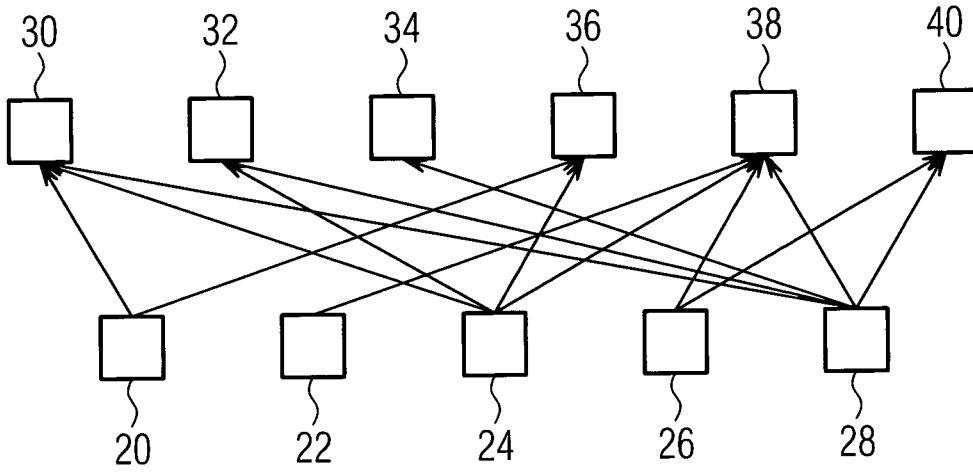


Fig. 2

FIG. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/004503

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. C10J3/72
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
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 2009/009693 A1 (GRANITE ENERGY INC [US]; NEVES ALAN M [US]; BROCKBANK GROVER R [US]; E) 15 January 2009 (2009-01-15) figures 4-8 page 19, line 29 - page 21, line 26 -----	1-8
X	WO 2007/002844 A2 (COMMUNITY POWER CORP [US]; DIEBOLD JAMES P [US]; LILLEY ARTHUR [US]; B) 4 January 2007 (2007-01-04) figures 1-5 paragraph [0086] - paragraph [0092] -----	1-8
X	US 2007/289216 A1 (TSANGARIS ANDREAS [CA] ET AL) 20 December 2007 (2007-12-20) figures 1-5 paragraph [0176] - paragraph [0177] ----- -/--	1-8

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 6 March 2013	Date of mailing of the international search report 13/03/2013
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 Lachmann, Richard

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/004503

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 607 487 A (TAYLOR LELAND T [US]) 4 March 1997 (1997-03-04) column 10, line 59 - column 11 column 12, line 47 - column 13, line 23 -----	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2012/004503

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
WO 2009009693	A1	15-01-2009	US 2009119993 A1	14-05-2009
			US 2012144742 A1	14-06-2012
			WO 2009009693 A1	15-01-2009
WO 2007002844	A2	04-01-2007	AU 2006263659 A1	04-01-2007
			AU 2011200022 A1	27-01-2011
			CA 2613427 A1	04-01-2007
			CN 101558133 A	14-10-2009
			EP 1896368 A2	12-03-2008
			JP 5086253 B2	28-11-2012
			JP 2009501807 A	22-01-2009
			US 2007006528 A1	11-01-2007
			US 2007017859 A1	25-01-2007
			US 2011120312 A1	26-05-2011
			US 2011232191 A1	29-09-2011
			WO 2007002844 A2	04-01-2007
WO 2007002847 A2	04-01-2007			
US 2007289216	A1	20-12-2007	AU 2007256686 A1	13-12-2007
			EP 2029702 A1	04-03-2009
			GB 2452218 A	25-02-2009
			JP 2009545636 A	24-12-2009
			KR 20090019891 A	25-02-2009
			US 2007289216 A1	20-12-2007
			US 2011078952 A1	07-04-2011
WO 2007143673 A1	13-12-2007			
US 5607487	A	04-03-1997	US 5607487 A	04-03-1997
			US 5917138 A	29-06-1999
			US 5922092 A	13-07-1999

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. C10J3/72 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	WO 2009/009693 A1 (GRANITE ENERGY INC [US]; NEVES ALAN M [US]; BROCKBANK GROVER R [US]; E) 15. Januar 2009 (2009-01-15) Abbildungen 4-8 Seite 19, Zeile 29 - Seite 21, Zeile 26 -----	1-8
X	WO 2007/002844 A2 (COMMUNITY POWER CORP [US]; DIEBOLD JAMES P [US]; LILLEY ARTHUR [US]; B) 4. Januar 2007 (2007-01-04) Abbildungen 1-5 Absatz [0086] - Absatz [0092] -----	1-8
X	US 2007/289216 A1 (TSANGARIS ANDREAS [CA] ET AL) 20. Dezember 2007 (2007-12-20) Abbildungen 1-5 Absatz [0176] - Absatz [0177] ----- -/--	1-8
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"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</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
6. März 2013		13/03/2013
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 Lachmann, Richard

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 607 487 A (TAYLOR LELAND T [US]) 4. März 1997 (1997-03-04) Spalte 10, Zeile 59 - Spalte 11 Spalte 12, Zeile 47 - Spalte 13, Zeile 23 -----	1-8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/004503

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2009009693 A1	15-01-2009	US 2009119993 A1	14-05-2009
		US 2012144742 A1	14-06-2012
		WO 2009009693 A1	15-01-2009

WO 2007002844 A2	04-01-2007	AU 2006263659 A1	04-01-2007
		AU 2011200022 A1	27-01-2011
		CA 2613427 A1	04-01-2007
		CN 101558133 A	14-10-2009
		EP 1896368 A2	12-03-2008
		JP 5086253 B2	28-11-2012
		JP 2009501807 A	22-01-2009
		US 2007006528 A1	11-01-2007
		US 2007017859 A1	25-01-2007
		US 2011120312 A1	26-05-2011
		US 2011232191 A1	29-09-2011
		WO 2007002844 A2	04-01-2007
WO 2007002847 A2	04-01-2007		

US 2007289216 A1	20-12-2007	AU 2007256686 A1	13-12-2007
		EP 2029702 A1	04-03-2009
		GB 2452218 A	25-02-2009
		JP 2009545636 A	24-12-2009
		KR 20090019891 A	25-02-2009
		US 2007289216 A1	20-12-2007
		US 2011078952 A1	07-04-2011
WO 2007143673 A1	13-12-2007		

US 5607487 A	04-03-1997	US 5607487 A	04-03-1997
		US 5917138 A	29-06-1999
		US 5922092 A	13-07-1999
