

(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
10. März 2011 (10.03.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/026631 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/005409
- (22) Internationales Anmeldedatum:
3. September 2010 (03.09.2010)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2009 039 836.8
3. September 2009 (03.09.2009) DE
- (72) Erfinder; und
- (71) Anmelder : TETZLAFF, Karl-Heinz [DE/DE]; Mörikestr.6, 65779 Kellheim (DE).
- (74) Anwalt: COHAUSZ & FLORACK; KAPFENBERGER, Jochen, Bleichstraße 14, 40211 Düsseldorf (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, DE, 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 (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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SYNGAS REACTOR WITH A HEATED COKE CLOUD

(54) Bezeichnung : SYNTHESGASREAKTOR MIT BEHEIZTER KOKSWOLKE

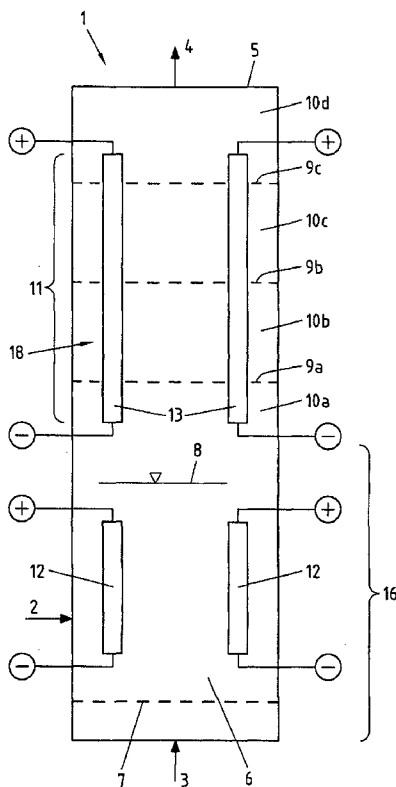


Fig.1

(57) Abstract: The invention relates to a device (1) for producing syngas (4) from substantially solid fuels, preferably biomass (2), by steam reforming, using at least one pyrolysis reactor (16) for the formation of pyrolysis gas containing tar and coke particles. In order to produce a syngas that is substantially devoid of tar in a simple, cost-effective manner, the device is provided with at least one coke cloud reactor (11) and said coke cloud reactor (11) has at least one heating device (18) for the catalytic cracking of the tar in the pyrolysis gas.

(57) Zusammenfassung: Dargestellt und beschrieben wird eine Vorrichtung (1) zur Herstellung von Synthesegas (4) aus im Wesentlichen festen Brennstoffen, vorzugsweise Biomasse (2), durch Dampf reformierung mit wenigstens einem Pyrolysereaktor (16) zur Bildung von teerhaltigem Pyrolysegas und Kokspartikeln. Um einfach und kostengünstig ein im Wesentlichen teerfreies Synthesegas erzeugen zu können, ist vorgesehen, dass wenigstens ein Kokswolkenreaktor (11) vorhanden ist und dass der Kokswolkenreaktor (11) wenigstens eine Heizeinrichtung (18) zur katalytischen Spaltung der Teere des Pyrolyse-gases aufweist.

WO 2011/026631 A2



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)*

Synthesegasreaktor mit beheizter Kokswolke

5 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Herstellung von
Synthesegas aus im Wesentlichen festen Brennstoffen,
vorzugsweise Biomasse, durch Dampfreformierung mit wenigstens
einem Pyrolysereaktor zur Bildung von teerhaltigem
Pyrolysegas und Kokspartikeln. Ferner betrifft die Erfindung
10 ein Verfahren zur Herstellung von Synthesegas aus im
Wesentlichen festen Brennstoffen, vorzugsweise Biomasse,
durch Dampfreformierung.

Die Herstellung von Synthesegas aus Biomasse in stationären
15 Wirbelschichtreaktoren ist an sich bekannt. Zum Ausgleich der
endothermen Reaktionsenthalpie bei der Synthesegasherstellung
wird ein Teil der Biomasse mit Luft oxidiert. Das kann direkt
durch Einleiten von Luft in den Düsenboden geschehen oder
indirekt durch Verbrennen von Biomasse oder dem daraus
20 gebildeten Koks in einem zweiten Reaktor, der mit dem ersten
Reaktor durch ein umlaufendes Sandbett verbunden ist.

Das Synthesegas aus diesen Reaktoren enthält erhebliche
Mengen an Teeren. Ein Grund für den hohen Teergehalt besteht
25 darin, dass Biomassepartikel sehr schnell in die obere
Schicht der Wirbelschicht in einen Zustand gelangen und dort
primäre und sekundäre Teere freisetzen können, die dann ohne
eine nennenswerte weitere Umsetzung mit dem Produktgas
abgezogen werden. Die nachträgliche Entfernung der Teere aus
30 dem Synthesegas erfordert einen erheblichen Aufwand.

Der Teergehalt von in Wirbelschichtreaktoren mit
zirkulierender Wirbelschicht erzeugten Synthesegasen ist aus

dem genannten Grund noch höher als in Reaktoren mit stationärer Wirbelschicht.

Zur Verringerung des Teergehalts kann das Synthesegas in
5 einem zweistufigen Prozess hergestellt werden. Zunächst wird
der feste Brennstoff in einem Pyrolysereaktor unter
Freisetzung eines Pyrolysegases und Koks pyrolysiert.
Anschließend wird das Pyrolysegas bedarfsweise unter
Anwesenheit des Koks in einem Synthesegasreaktor mittels
10 Wasserdampf reformiert und zu Synthesegas umgesetzt. Das so
hergestellte Synthesegas weist jedoch noch einen
nennenswerten Teergehalt auf, der nachträglich nur sehr
aufwändig zu entfernen ist.

15 Ein weiterer Nachteil bekannter Verfahren ist, dass der
Sauerstoff der zugeführten Luft direkt auf die heißen
Kokspartikel trifft und diese oxidiert. Die in den
Kokspartikeln enthaltenen Aschen können durch die dabei
entstehenden hohen Temperaturen schmelzen. Das schränkt die
20 vergasbaren Biomassen auf holzartige Biomassen ein, weil
deren Aschen einen höheren Schmelzpunkt aufweisen.

In DE 10 2008 014 799 A1 und DE 10 2008 032 166 A1 wird
beschrieben, dass der Teergehalt durch das serielle
25 Verschalten mehrerer Reaktoren mit stationären
Wirbelschichten vermindert werden kann. Diese Wirbelschichten
werden mit inertem Bettmaterial betrieben. Der apparative
Aufwand ist sehr hoch.

30 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine
Vorrichtung und ein Verfahren anzugeben, mit denen einfach

und kostengünstig ein im Wesentlichen teerfreies Synthesegas erzeugt werden kann.

Die Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der Patentansprüche 1
5 und 13 gelöst. Die Unteransprüche 2 bis 12 und 14 bis 21
betreffen vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

Vorrichtungsmäßig ist wenigstens ein Kokswolkenreaktor
vorgesehen, wobei der Kokswolkenreaktor wenigstens eine
10 Heizeinrichtung zur katalytischen Spaltung der Teere des
Pyrolysegases aufweist.

Verfahrensmäßig ist vorgesehen, dass ein im Wesentlichen
fester Brennstoff in wenigstens einem Pyrolysereaktor in
15 Pyrolysegas und Koks zerlegt wird, wobei der Koks
gleichzeitig oder nachträglich in feine Kokspartikel
zerkleinert wird. Die so erhaltenen Kokspartikel werden vom
Pyrolysegas in wenigstens einen Kokswolkenreaktor getragen,
der durch wenigstens eine Heizeinrichtung beheizt wird, so
20 dass der im Pyrolysegas enthaltene Teer katalytisch an den
Kokspartikeln umgesetzt wird. Es kommt dabei zu einer
Spaltung, einem sogenannten cracken, der Teere.

Neben einer katalytischen Spaltung der Teere des
25 Pyrolysegases kann auch eine thermische Spaltung der Teere
erfolgen. Die thermische Spaltung der Teere erfolgt jedoch
erst bei Temperaturen von beispielsweise 1300°C bis 1600°C.
Die katalytische Umsetzung an Kokspartikeln kann jedoch
bereits bei Temperaturen von ca. 700°C bis 1000°C,
30 insbesondere von ca. 750°C bis 950°C, erfolgen, und zwar
bedarfsweise so, dass ein im Wesentlichen teerfreies
Synthesegas erhalten werden kann.

In der Kokswolke wird ein sehr guter Wärme- und Stoffaustausch erreicht, was mittels der Heizeinrichtung und der katalytischen Wirkung der Kokspartikel dazu genutzt werden kann, auf einfache Weise ein im Wesentlichen teerfreies Synthesegas herzustellen.

Neben der katalytischen Umsetzung, also der Spaltung, der Teere kann auch eine thermische Spaltung der Teere erfolgen. Da die für eine thermische Umsetzung der Teere erforderliche Temperatur oberhalb des Ascheschmelzpunkts liegen kann, soll verfahrensmäßig wenigstens ein nennenswerter Teil, vorzugsweise der überwiegende Teil der Teere katalytisch umgesetzt werden. Bevorzugt ist es, wenn die Teere, im Wesentlichen katalytisch umgesetzt werden.

Unter "im Wesentlichen feste Brennstoffe" im Sinne der Erfindung werden Brennstoffe verstanden, die bei Normalbedingungen ganz oder teilweise in festem Aggregatzustand vorliegen. Vorzugsweise wird Biomasse als Brennstoff eingesetzt.

Im Pyrolysereaktor kann neben der reinen Pyrolyse auch wenigstens teilweise eine Dampfreformierung erfolgen, insbesondere wenn dem wenigstens einen Pyrolysereaktor Wasser, vorzugsweise in Form von Wasserdampf, zugeführt wird und/oder die Biomasse eine entsprechende Feuchte aufweist.

Der Begriff Kokswolke steht für eine Ansammlung von Kokspartikeln, die von einem Pyrolysegasstrom mitgerissen oder wenigstens in der Schwebe gehalten werden. Die Kokspartikel werden durch Pyrolyse eines festen Brennstoffs,

insbesondere von Biomasse, im wenigstens einen
Pyrolysereaktor gebildet. Bedarfsweise kann parallel oder
nachträglich eine Zerkleinerung der Kokspartikel erfolgen. Im
wenigstens einen Pyrolysereaktor wird auch das Pyrolysegas
5 erzeugt, das die Kokspartikel in der Schwebelage hält bzw. in
Strömungsrichtung des Pyrolysegases weitertransportiert. Das
Pyrolysegas ist in der Regel teerhaltig.

Bei Teeren handelt es sich um hochmolekulare Verbindungen mit
10 einem entsprechend hohen Siedepunkt. Wenngleich viele dieser
Verbindungen Siedepunkte unter 250°C aufweisen, können diese
zu Problemen führen. Sogenannte primäre Teere werden durch
Überschreiten der Siedetemperatur aus der Biomasse
ausgetrieben. Aus den primären Teeren bilden sich sogenannte
15 sekundäre Teere, die etwa aus alkylierten Mono- und
Diaromaten einschließlich der Heteroaromaten bestehen. Bei
hohen Temperaturen finden sich zunehmend auch als
Hochtemperatur- oder Rekombinationsteere bezeichnete tertiäre
Teere wie Benzol, Naphthalin, Phenanthren, Pyren, Benzopyren
20 im Pyrolysegas, die vorwiegend durch Rekombination sekundären
Teere gebildet werden.

Unter einem Kokswolkenreaktor wird ein solcher verstanden,
der einen Reaktionsraum aufweist, in den die Kokswolke
25 eindringen kann und in dem die Kokspartikel von der
Gasströmung wenigstens in der Schwebelage gehalten werden. Auf
ein Bettmaterial aus inertem Bettmaterial wird im
Kokswolkenreaktor verzichtet. Vorzugsweise sind lediglich der
Koks und etwaige Reaktionsprodukte als Feststoffe im
30 Kokswolkenreaktor vorhanden.

Im Kokswolkenreaktor erfolgt vorzugsweise eine Dampfreformierung, wobei auch bereits im Pyrolysereaktor teilweise eine Dampfreformierung erfolgen kann. Der Kokswolkenreaktor kann also als Synthesegasreaktor angesehen werden. Ferner erfolgt eine katalytische Umsetzung der im Gastrom enthaltenen Teere an den heißen Kokspartikeln der Kokswolke. Diese Umsetzung bedarf einer Wärmezufuhr, wozu im Kokswolkenreaktor wenigstens eine Heizeinrichtung vorgesehen ist.

10

Im Folgenden wird der Einfachheit halber das Gas innerhalb des Pyrolysereaktors sowie das den Pyrolysereaktor verlassende Gas als Pyrolysegas bezeichnet. Auch das Gas im Kokswolkenreaktor wird als Pyrolysegas bezeichnet.

15

Selbstverständlich unterscheidet sich die Zusammensetzung des Pyrolysegases in Abhängigkeit davon, wo sich das Pyrolysegas in der Vorrichtung befindet. Es soll jedoch der leichten Verständlichkeit halber die Anzahl der verwendeten Begriffe gering gehalten werden.

20

Ferner werden der Einfachheit halber vorrichtungsmäßige und verfahrensmäßige Weiterbildungen zusammen beschrieben, wobei der Fachmann der Beschreibung die Merkmale der jeweils bevorzugten Ausgestaltungen entnimmt.

25

Bei einer ersten bevorzugten Ausgestaltung ist der Kokswolkenreaktor derart oberhalb des Pyrolysereaktors angeordnet, dass die Kokspartikel vom Pyrolysegas getragen in vertikaler Richtung vom Pyrolysereaktor in den Kokswolkenreaktor gelangen. Eine rein vertikale Richtung ist zwar bevorzugt. Eine schräge, nach oben weisende Richtung kann jedoch noch mit umfasst sein. Je vertikaler die Richtung

30

desto einfacher kann die Vorrichtung aufgebaut werden und desto geringer ist die Gefahr von Ablagerungen von Kokspartikeln in der Vorrichtung.

- 5 Der Pyrolysereaktor und der Kokswolkenreaktor müssen jedoch nicht übereinander angeordnet sein. Beide Reaktoren können grundsätzlich auch nebeneinander angeordnet sein. Das die Kokspartikel tragende Pyrolysegas kann dazu auch zur Seite geführt und dem unteren Teil des Kokswolkenreaktors zugeführt
10 werden. Die Strömungsgeschwindigkeit des Pyrolysegases sollte dabei groß genug sein, um eine Entmischung und/oder Ablagerungen zu verhindern.

Vorzugsweise ist der Pyrolysereaktor ein Wirbelschichtreaktor
15 mit einem inerten Bettmaterial. Dann erfolgt die Zerkleinerung des Kokes parallel zu dessen Herstellung. Die Herstellung und Zerkleinerung des Kokes kann jedoch auch auf andere Art erfolgen. Der Koks könnte dann anschließen einer Pyrolysegasströmung zugegeben werden, um Kokswolken für den
20 Kokswolkenreaktor zu bilden. Dieses Vorgehen ist jedoch aufwändiger und daher weniger bevorzugt.

Weist der Pyrolysereaktor eine stationäre Wirbelschicht auf, ist dies günstig für die Zerkleinerung des Kokes. Die dabei
25 entstehenden kleinen Kokspartikeln sind bis in den Kern derselben ausreichend aufgeheizt, so dass die primären Teere im Pyrolysereaktor und nicht im Kokswolkenreaktor austreten. Zudem wird in der stationäre Wirbelschicht ein Großteil der Teere aus dem Koks ausgetrieben.

30

Eine kompakte Bauform wird erhalten, wenn der Pyrolysereaktor und der Kokswolkenreaktor im Wesentlichen axial übereinander

angeordnet sind. Wenn die Reaktoren etwa kreisrunde Querschnitte aufweisen, bietet sich eine konzentrische Anordnung derselben an. Unter einer axialen Anordnung kann bei Abwesenheit von entsprechenden Mittellinien auch eine
5 solche verstanden werden, bei der die Mitten der Reaktoren etwa fluchtend zueinander angeordnet sind.

Sehr platzsparend und konstruktiv einfach ist es, wenn der Pyrolysereaktor und der Kokswolkenreaktor gemeinsam im
10 Wesentlichen einen zylindrischen Schuss bilden. Dabei sind die jeweiligen Querschnitte vorzugsweise im Wesentlichen konstant.

Allerdings kann im Kokswolkenreaktor lokal absichtlich
15 wenigstens eine Verengung des freien Strömungsquerschnitts vorgesehen werden, um den Reaktionsraum in entsprechende Abschnitte zu unterteilen und so eine Rückvermischung ebenso zu verhindern wie eine Kurzschlussströmung. Die wenigstens eine Verjüngung des freien Strömungsquerschnitts kann der
20 Einfachheit halber durch wenigstens ein Lochblech und/oder einen Düsenboden geschaffen werden.

Für einen effektiven Betrieb der Heizeinrichtung kann diese einen gasdurchlässigen, porösen Bereich aufweisen.
25 Konstruktiv einfach lässt sich dies durch ein poröses Rohr erreichen.

Zum Verteilen der Wärmeübertragungsfläche im Kokswolkenreaktor kann die Heizeinrichtung eine Mehrzahl von
30 innerhalb des Kokswolkenreaktors vorgesehenen Rohren aufweisen. Alternativ oder zusätzlich kann der gasdurchlässige, poröse Bereich elektrisch beheizt sein, so

dass eine einfache und effiziente Beheizung des Kokswolkenreaktors erreicht wird.

Zudem kann die Heizeinrichtung bedarfsweise oberflächlich
5 einen teerspaltenden Katalysator aufweisen. Dadurch kann die
katalytische Umsetzung der Teere an den Kokspartikeln noch
unterstützt werden. Der größeren Oberfläche wegen kann das
katalytische Material am gasdurchlässigen, porösen Bereich,
insbesondere an dessen Porensystem, vorgesehen sein.

10

Wenn der Pyrolysereaktor eine Wirbelschicht aufweist, wird
unterhalb dieser ein Wirbelgas zugeführt. Am Kopf des
Kokswolkenreaktors wird dann das Synthesegas abgezogen. Wenn
das Wirbelgas genügend Feuchtigkeit für die Dampfreformierung
15 aufweist, ist keine weitere Gaszuführung erforderlich.

Wenn der Kokswolkenreaktor in verschiedene Abschnitte
unterteilt ist, durchlaufen die Kokspartikel vorzugsweise
nacheinander die Mehrzahl der in den seriell angeordneten
20 Abschnitten gebildeten Kokswolken. Reaktionstechnisch kann
der Kokswolkenreaktor somit als Rührkesselkaskade angesehen
werden.

Die Beheizung des Kokswolkenreaktors erfolgt vorzugsweise
25 durch eine im Querschnitt des Kokswolkenreaktors angeordnete
Heizeinrichtung, wodurch ein guter Wärmeübergang erreicht
wird. Um den Wärmeeintrag in den Kokswolkenreaktor zu
erhöhen, kann einem Hohlraum der Heizeinrichtung ein
sauerstoffhaltiges Gas zugeführt werden, das in einem porösen
30 Abschnitt der Heizeinrichtung Pyrolysegas oxidiert.

Wird dem Hohlraum der Heizeinrichtung ein dynamischer Druckwechsel aufgeprägt, bei dem sich die Strömungsrichtung des Gases im porösen Abschnitt immer wieder umgekehrt, kann der Wärmeübergang verbessert und kokspartikelfreies

5 Pyrolysegas in den porösen Abschnitt eingesaugt werden, ohne dass dieser Teil des Pyrolysegases abgezogen werden müsste.

Alternativ oder zusätzlich kann der im Pyrolysegas enthaltene Teer im porösen Abschnitt der Heizeinrichtung, d.h. in dessen
10 Porensystem, an dort vorgesehenem katalytischen Material umgesetzt werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn die reine Temperaturerhöhung für eine entsprechende Umsetzung der Teere alleine nicht ausreicht.

15 Die Heizeinrichtung kann wenigstens teilweise im Querschnitt des Kokswolkenreaktors angeordnet sein. Die Heizeinrichtung verringert dann den freien Strömungsquerschnitt für die Kokswolke und kann gleichzeitig eine große Wärmeübertragungsfläche bereitstellen. Im Kokswolkenreaktor
20 strömt die Kokswolke vorzugsweise ähnlich einer Pfropfenströmung in Strömungsrichtung des Gases. Der Kokswolkenreaktor kann reaktionstechnisch näherungsweise als Rohrreaktor angesehen werden.

25 Die Biomasse wird bei einer Ausführungsform in der Wirbelschicht zunächst nicht vollständig umgesetzt. Es bleibt noch Koks in fein verteilter Form übrig. Dieser Koks kann zusammen mit dem teerhaltigen Pyrolysegas als Kokswolke in dem nachgeschalteten erfindungsgemäßen Kokswolkenreaktor zur
30 katalytischen Umsetzung des Teers genutzt werden. Der Kokswolkenreaktor ist daher vorzugsweise oberhalb des Pyrolysereaktors angeordnet, so dass das Pyrolysegas mit den

Kokspartikeln nur nach oben strömen muss. Ein Absetzen von Kokspartikeln in Anlagenteilen zwischen dem Pyrolysereaktor und dem Synthesegasreaktor kann so vermieden werden.

5 Im Kokswolkenreaktor wird das Pyrolysegas mit Hilfe einer Heizung zu jedenfalls weitgehend teerfreiem Synthesegas umgesetzt. Die im Pyrolysegas enthaltenen Teere werden dabei katalytisch an den heißen Kokspartikeln zerstört, ohne dass die Asche der Kokspartikel aufgeschmolzen wird.

10

Unter dem Wirbelgas wird das Gas bzw. das Gasgemisch verstanden, das dem Pyrolysereaktor zugeführt wird, selbst wenn es sich dabei nicht um einen Wirbelschichtreaktor handeln sollte. Im Falle eines Wirbelschichtreaktors handelt es sich bei dem Wirbelgas vorzugsweise um das durch die Wirbelschicht strömende Gas bzw. Gasgemisch zur Verwirbelung des Bettmaterials. Unter dem eigentlichen Synthesegas wird das Produktgas verstanden, das vorzugsweise eine Synthesegaszusammensetzung aufweist.

20

Der feste Brennstoff oder die Biomasse werden zunächst pyrolysiert, also in Pyrolysegas und Koks zerlegt. Der Koks kann anschließend zerkleinert werden. Das kann beispielsweise durch ein Verfahren und eine Vorrichtung gemäß DE 198 07 988 Al erfolgen. Einfacher ist es jedoch, die Pyrolyse in einer, vorzugsweise stationären, Wirbelschicht mit inertem Bettmaterial durchzuführen. In der Wirbelschicht erfolgen die Pyrolyse und die Zerkleinerung des Kokses gleichzeitig und in einem Apparat bzw. bedarfsweise in einem Reaktor, wobei die Zerkleinerung des Kokses im Wesentlichen durch Abrasion mit dem inertem Bettmaterial des Pyrolysereaktors erfolgt. Als Bettmaterial kommt insbesondere Sand in Frage. Der Vorteil

30

einer stationären Wirbelschicht ist auch, dass sich die erfindungsgemäße Vorrichtung in diesen Apparat integrieren lässt.

- 5 Für die Pyrolyse bedingt geeignet ist ein Wirbelschichtreaktor mit zirkulierender Wirbelschicht. Je nach Betriebsweise entstehen dann größere Kokspartikel, die für das erfindungsgemäße Verfahren weniger gut geeignet sind.
- 10 Die Temperatur der Pyrolyse, d.h. die Temperatur im Pyrolysereaktor, kann zwischen 400°C und 1000°C, vorzugsweise zwischen 600°C bis 850°C, liegen. Die Temperatur ist dabei vorzugsweise so hoch, dass sowohl eine Pyrolyse als auch eine Dampfreformierung im Pyrolysereaktor stattfindet. Die
- 15 Reaktionsbedingungen sind in an sich bekannter Weise stets so zu wählen, dass noch Koks für den Kokswolkenreaktor zur Verfügung steht.

- Das Pyrolysegas wird zusammen mit den Kokspartikeln in den
- 20 beheizbaren Kokswolkenreaktor eingeleitet. Die Kokspartikel sollen vorzugsweise so fein sein, dass sie von der Gasströmung getragen werden. Die Kokspartikel können beispielsweise im Wesentlichen staubförmig vorliegen. Die Partikel sollten vorzugsweise nicht größer als 3 mm sein,
- 25 weil bei größeren Partikeln eine hohe Gasgeschwindigkeit gewählt werden muss, um die Kokspartikel aus dem Pyrolysereaktor in den Kokswolkenreaktor zu transportieren. Die höhere Gasgeschwindigkeit hat jedoch zur Folge, dass sich die Verweilzeit im Kokswolkenreaktor stark verkürzt.
- 30 Vorzugsweise sollte die Partikelgröße kleiner als 1 mm sein.

Der Kokswolkenreaktor kann oberhalb des Pyrolysereaktors angeordnet sein. Vorzugsweise kann die Reaktionszone des Kokswolkenreaktors direkt über dem Pyrolysereaktor beginnen. Die Kokspartikel können nämlich vom Pyrolysegas entgegen der
5 Schwerkraft aus dem Pyrolysereaktor ausgetragen und dem Kokswolkenreaktor zugeführt werden. Die Kokspartikel strömen idealerweise als Pfropfenströmung an der Heizeinrichtung des Kokswolkenreaktors vorbei und werden auf ihrem Weg zum
10 Ausgang des Kokswolkenreaktors bei hohen Temperaturen mit Wasserdampf zu Synthesegas umgesetzt.

Bevorzugt ist eine im Wesentlichen vertikale Strömungsrichtung der Kokswolke im Kokswolkenreaktor und bedarfsweise auch zwischen dem Pyrolysereaktor und dem
15 Kokswolkenreaktor. Die Strömungsrichtung kann grundsätzlich auch leicht schräg sein. Horizontale oder gar in Richtung der Schwerkraft weisende Strömungsrichtungen sind jedoch grundsätzlich weniger bevorzugt, weil sich dann Kokspartikel in entsprechenden Anlagenteilen absetzen können.

20

Eine Annäherung an eine ideale Pfropfenströmung kann dadurch geschaffen werden, dass die Heizeinrichtung so ausgebildet wird, dass schmale senkrechte Kanäle entstehen. So kann die Heizeinrichtung beispielsweise eine Vielzahl an parallel
25 zueinander ausgerichteten Heizrohren aufweisen, die zwischen einander schmale freie Strömungsquerschnitte bilden, wodurch eine Rückvermischung (Turbulenzen) weitgehend vermieden wird. Da wegen hoher Koksbeladung des Pyrolysegases Turbulenzen nicht leicht zu vermeiden sind, kann der
30 Kokswolkenreaktor durch Querschnittsverengungen in mehrere Abschnitte unterteilt werden. Das kann beispielsweise durch Lochbleche geschehen, bei denen die Strömungsgeschwindigkeit

in den Löchern so hoch ist, dass kein Gas zurückströmen kann. Der Kokswolkenreaktor kann dann reaktionstechnisch als sogenannte Rührkesselkaskade, d.h. Reihenschaltung mehrerer idealer Rührkessel, betrachtet werden. Durch die Mehrzahl der Abschnitte, die jeweils für sich reaktionstechnisch als einzelner Rührkessel betrachtet werden können, kommt ein solcher Kokswolkenreaktor einer idealen Pfropfenströmung vorzugsweise recht nahe, und zwar umso mehr, je mehr Abschnitte vorgesehen werden.

10

Es ist bekannt, dass Teere bei hohen Temperaturen an Kokspartikeln katalytisch gespalten werden. In einer Kokswolke, wie hier beschrieben, werden dazu ideale Voraussetzungen geschaffen. Es wird eine hohe Verweilzeit erreicht, weil kein inertes Bettmaterial das Reaktionsvolumen verkleinert. Der Stoffaustausch in der Kokswolke ist wesentlich höher als in der Gasblase einer Wirbelschicht, die mit inertem Bettmaterial betrieben wird.

20 Zur Unterstützung der katalytischen Teerspaltung kann die Heizeinrichtung mit einem Katalysator beschichtet werden. Mit dem Pyrolysegas in Kontakt kommende Teile der Heizeinrichtung können auch aus einem Katalysator gefertigt sein. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Heizeinrichtung poröse Rohre aufweist und/oder als elektrische Heizung ausgebildet ist. Bei Verwendung poröser, einen Katalysator aufweisender Rohre steht eine hohe katalytisch wirksame Oberfläche zur Verfügung. Als katalytisch aktives Material kann Nickel verwendet werden. Katalysatoren können beispielsweise
30 nickelbasierte Katalysatoren der Gruppe VIII des Periodensystems sein, die zugleich auch Ammoniak zerstören.

Auch die Dotierung nickelbasierter Katalysatoren mit MgO, ZrO₂ und/oder ZrO₂-Al₂O₃ kann vorteilhaft sein.

Der Stoffaustausch lässt sich bei Verwendung poröser Rohre durch Anlegen von pulsierenden Druckwechseln an den inneren Hohlraum der Rohre verbessern. Die Rohre können vorzugsweise mit Druckwechseln einer Frequenz von 0,1 bis 10.000 Herz, vorzugsweise von 5 bis 500 Hz, beaufschlagt werden.

Weil durch das Fehlen eines inerten Bettmaterials, wie Sand (SiO₂), mit in der Biomasse enthaltenem Kalium und Phosphor trotz der Beheizung des Kokswolkenreaktors keine niedrigschmelzenden Eutektika gebildet werden können, sind auch ansonsten problematische Biomassen mit hohem Kalium- und/oder Phosphorgehalt nutzbar, deren Asche bei entsprechenden Prozessbedingungen unter Verwendung von Sand als Bettmaterial schmelzen würden. Besonders kritisch ist in diesem Zusammenhang K₂O*4SiO₂, da der Schmelzpunkt dieser Verbindung bei ca. 760°C liegt.

20

Die Wärmeübertragung von der Heizeinrichtung auf die Kokspartikel erfolgt vorzugsweise überwiegend oder weiter vorzugsweise im Wesentlichen durch Wärmestrahlung. Bedingt durch die endotherme Reaktion bei der Umsetzung der Kokspartikel zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff im Kokswolkenreaktor ($C + CO_2 = 2CO + 159,9 \text{ kJ/mol}$; $C + H_2O = CO + H_2 + 118,5 \text{ kJ/mol}$) sind die Kokspartikel stets kälter als die strahlende Heizung.

Anstelle von elektrischer Energie kann zum Betrieb der Heizeinrichtung dieser auch ein sauerstoffhaltiges Gas, wie etwa Luft oder Sauerstoff, zugeführt werden. Die

Heizeinrichtung weist dann wenigstens einen porösen Abschnitt auf, in dem ein Teil des Pyrolysegases oxidiert wird und die Heizeinrichtung erwärmt.

5 Es lässt sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ein breiteres Spektrum von Biomassen einsetzen als mit Verfahren nach dem Stand der Technik, bei denen die Kokspartikel durch Zugabe von Sauerstoff eine Temperaturerhöhung von mehr als 100°C erfahren, wodurch die enthaltene Asche schmelzen kann.

10

Um die Heizleistung an den Reaktionsfortschritt anzupassen, kann die Heizeinrichtung entlang des Reaktionspfades segmentiert sein. Am einfachsten ist das mit einer elektrischen Heizeinrichtung möglich. Eine elektrische Heizeinrichtung kann beispielsweise über Lochbleche an die 15 Spannungsversorgung angeschlossen sein, wobei die Lochbleche gleichzeitig den Reaktionsraum des Kokswolkenreaktors in einzelne Reaktionszonen unterteilen. Die elektrische Heizeinrichtung ist dann oder durch ähnliche Maßnahmen 20 abschnittsweise regelbar. Die Verwendung elektrischer Energie wird bevorzugt, da zukünftig elektrische Energie nicht wertvoller ist als Wärmeenergie.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht mit geringem 25 apparativen Aufwand eine weitgehende Entfernung von Teeren durch primäre Maßnahmen. Das heißt, dass sekundäre Maßnahmen zur Teerentfernung im Sinne zusätzlicher Verfahrensschritte, etwa zur katalytischen Umsetzung oder zur Abscheidung von Teeren, entbehrlich sind (End of Pipe). Es erweitert auch das 30 Spektrum der einsetzbaren Biomassen. Die Asche wird dabei nicht aufgeschmolzen und kann daher als Mineraldünger verwendet werden.

Die Heizeinrichtung besteht vorzugsweise aus einer Mehrzahl von Heizvorrichtungen. Heizvorrichtungen können in Form von Platten, Rohren und/oder Stäben ausgebildet sein.

5

Nachstehend wird die Erfindung anhand von einer lediglich ein Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt

10 Fig. 1 einen Kokswolkenreaktor, der zusammen mit einem Wirbelschichtreaktor in eine gemeinsame Reaktoreinrichtung integriert ist, und

Fig. 2 eine Heizvorrichtung der Heizeinrichtung gemäß Fig. 1
15 in einer Schnittansicht.

Die Fig. 1 zeigt eine Reaktoreinrichtung 1, mit einem Gehäuse 5, in welchem ein Kokswolkenreaktor 11 zusammen mit einem Pyrolysereaktor 16 enthalten sind. Der Pyrolysereaktor 16 ist
20 als stationärer Wirbelschichtreaktor mit einer Wirbelschicht 6 eines inerten Bettmaterials ausgebildet, deren oberes Ende mit 8 gekennzeichnet ist. Der Düsenboden 7 bildet das untere Ende der Wirbelschicht 6, in der eine als Elektroheizung ausgebildete Heizeinrichtung 12 vorgesehen ist. Die
25 stationäre Wirbelschicht wird durch die Heizeinrichtung 12 auf eine Temperatur von etwa 400°C bis 1000°C, vorzugsweise von etwa 600°C bis 850°C aufgeheizt. Bei der entsprechenden Temperatur erfolgt die Pyrolyse der in den Pyrolysereaktor 16 eingebrachten Biomasse 2. Zur Zerkleinerung des aus der
30 Biomasse 2 gebildeten Koks durch mechanischen Abrieb ist der Betrieb der Wirbelschicht 6 mit einem inerten Bettmaterial, wie Sand, vorgesehen. Der Wirbelschicht 6 wird

ein Wirbelgas 3 zugeführt, das die notwendige Menge Wasserdampf zur vollständigen Reformierung der Biomasse 2 enthält. Es ist folglich keine weitere Wasserdampfzugabe außer über das Wirbelgas 3 erforderlich.

5

Vom Pyrolysereaktor 16 gelangt das Pyrolysegas, d.h. das im Pyrolysereaktor 16 gebildete Gas, zusammen mit den im Pyrolysereaktor 16 gebildeten Kokspartikeln in den ersten Abschnitt 10a des Kokswolkenreaktors 11, der mit einer Heizeinrichtung 18 ausgestattet ist und direkt oberhalb der stationären Wirbelschicht 6 des Pyrolysereaktors 16 angeordnet ist. Bei der dargestellten und insoweit bevorzugten Vorrichtung sind der Pyrolysereaktor 16 und der Kokswolkenreaktor 11 in einem im Wesentlichen rohrförmigen Reaktorgehäuse übereinander vorgesehen. Die maximale Größe der Kokspartikel lässt sich durch Wahl der Bedingungen wie Sandkorngröße, Reaktorgröße, Durchsatz, Druck und/oder Temperatur, festlegen.

Bei der dargestellten und insoweit bevorzugten Vorrichtung weist die Heizeinrichtung 18 mehrere Heizrohre 13 auf. Die Heizrohre 13 bilden dabei enge Kanäle als freie Strömungsquerschnitte zwischen den Heizrohren 13, die ein Rückströmen der Kokswolken behindern. Um das Rückströmen der Kokswolken zusätzlich zu unterbinden, sind im Kokswolkenreaktor 11 zusätzlich Lochbleche 9a-9c angeordnet, die den Kokswolkenreaktor 11 in die Abschnitte 10a bis 10d unterteilen. Es könnten statt Lochblechen 9a-9c auch Düsenböden vorgesehen sein. Durch einen geeigneten Druckverlust über die Lochbleche 9a-9c, lässt sich eine so hohe Strömungsgeschwindigkeit in den Löchern einstellen, dass eine Rückströmung von Gas und/oder Kokspartikeln verhindert

wird. Dadurch können sogenannte Kurzschlussströmungen
verhindert werden, durch die das teerhaltige Gas in einem
einzigem Wirbel bei sehr kurzer Verweilzeit aus dem
Kokswolkenreaktor 11 ausgetragen werden könnte und so als
5 Verunreinigung in das Synthesegas 4 als Produktgas gelangt.

Die Energie für die Heizeinrichtung 18 kann aus beliebigen
Quellen stammen. Dargestellt ist eine Elektroheizung mit
senkrecht angeordneten Rohren 13. Um die Heizleistung dem
10 Reaktionsfortschritt anzupassen, ist eine getrennt regelbare
Heizung in den einzelnen Abschnitten 10b-10d des
Kokswolkenreaktors 11 zweckmäßig. Die elektrische
Kontaktierung der Heizeinrichtung 18 und/oder einzelner
Abschnitte der Heizeinrichtung kann dann direkt über die
15 Lochbleche 9a-9c erfolgen.

Es kann vorgesehen sein, dass mit dem Produktgas, d.h. dem
Synthesegas 4, ein Teil des Koks ausgetragen wird, um
diesen in der Landwirtschaft als Bodenverbesserer zu
20 verwenden. Die Dampfreformierung muss also nicht soweit
betrieben werden, dass der feste Brennstoff, etwa in Form von
Biomasse 2, vollständig zu Synthesegas 4 und Asche umgesetzt
wird. Dies kann bevorzugt sein, allerdings kann es zur
Mineraldüngergewinnung auch bevorzugt sein, wenn die
25 Umsetzung nur soweit erfolgt, dass neben der Asche auch ein
Teil der Kokspartikel ausgetragen wird. Diese können
vorzugsweise mit dem Synthesegas 4 ausgetragen und auf
bekannte Weise abgeschieden werden. Eine Kreislaufführung der
Kokspartikel ist zwar möglich aber aufgrund des
30 verfahrenstechnischen und apparativen Aufwands nicht
bevorzugt.

Ist billiger Sauerstoff 15 verfügbar, bietet es sich an, die Heizeinrichtung 18 mit Sauerstoff 15 zu betreiben. Diese Methode eignet sich sowohl zur Beheizung des Pyrolysereaktors 16 als auch zur Beheizung des Kokswolkenreaktors 11. Dazu
5 kann man, wie in Fig. 2 dargestellt, eine Heizeinrichtung 18 umfassend poröse Rohre 13 verwenden. Diese Rohre 13 sind mit einem Rohranschluss 17 versehen und besitzen am Ende beispielsweise einen Verschluss 14. Der Sauerstoff 15 strömt nun durch die porösen Rohre 13 und oxidiert die im
10 Kokswolkenreaktor 11 enthaltenen Gase. Man kann die Rohre auch an jedem Ende mit einem Rohranschluss versehen und den Sauerstoff hindurch leiten.

Wählt man in den Rohren 13 einen geringeren Druck als im
15 Kokswolkenreaktor 11, strömt das Pyrolysegas in die Rohre 13 und trifft dort auf den Sauerstoff 15. Das Pyrolysegas reagiert schon in den Poren mit Sauerstoff und erhitzt das Rohr 13. Die oxidierten Gase können dann über den zweiten Anschluss zur weiteren Verwendung abgezogen werden. In diesem
20 Fall gelangen also keine Verbrennungsprodukte in den Kokswolkenreaktor 11. Bei dieser Methode können sich jedoch festhaftende Filterschichten an den Rohren 13 bilden. Daher sollten diese von Zeit zu Zeit mit einem Druckwechsel abgelöst werden. Diese Methode eignet sich daher insbesondere
25 für den Pyrolysereaktor 16, weil die Rohre 13 dann bereits durch das Bettmaterial in Form von Sand ständig freigekratzt werden.

Bevorzugt für den Kokswolkenreaktor 11 kann es sein, den
30 Druck des Sauerstoffs 15 in den porösen Rohren 13 größer zu wählen als im Kokswolkenreaktor 11. Dann tritt der Sauerstoff 15 durch das Porensystem der Heizeinrichtung 18 in den

Kokswolkenreaktor 11 ein. Dabei kommt es zu einer partiellen Oxidation des Pyrolysegases und einer entsprechenden Wärmeentwicklung.

- 5 Eine Methode, die Oberfläche der porösen Rohre 13 frei zu halten und den Stoffaustausch zu intensivieren, besteht darin, in den Rohren 16 pulsierende Druckwechsel zu erzeugen. Das kann mit an sich bekannten Vorrichtungen geschehen. Diese Methode eignet sich besonders in Verbindung mit einer
- 10 katalytischen Ausrüstung der porösen Rohre zur Zerstörung von Teeren. Bei Wahl einer geeigneten Frequenz und Amplitude der Druckwechsel kann im Wesentlichen das gesamte Porensystem des Rohres 13 zur Teerspaltung genutzt werden. Ein katalytischer Effekt wird auch ohne die Durchleitung von Sauerstoff
- 15 erreicht, wenngleich das Durchleiten von geringen Mengen Sauerstoff 15 von innen nach außen effektiver ist.

Bezugszeichenliste

	1	Wirbelschichtreaktor
	2	Biomasse
5	3	Wirbelgas
	4	Synthesegas
	5	Reaktorgehäuse
	6	Wirbelschicht
	7	Düsenboden
10	8	Wirbelschichtende
	9a-c	Lochbleche
	10a-d	Reaktorabschnitte
	11	Kokswolkenreaktor
	12	Heizrohre, Pyrolysereaktor
15	13	Heizrohre, Kokswolkenreaktor
	14	Rohrabschluss
	15	Sauerstoff
	16	Pyrolysereaktor
	17	Rohranschluss
20	18	Heizeinrichtung

P a t e n t a n s p r ü c h e

5

1. Vorrichtung (1) zur Herstellung von Synthesegas (4) aus im Wesentlichen festen Brennstoffen, vorzugsweise Biomasse (2), durch Dampfreformierung mit wenigstens einem Pyrolysereaktor (16) zur Bildung von teerhaltigem Pyrolysegas und Kokspartikeln, d a d u r c h
10 g e k e n n z e i c h n e t , d a s s wenigstens ein Kokswolkenreaktor (11) vorgesehen ist und dass der Kokswolkenreaktor (11) wenigstens eine Heizeinrichtung (18) zur katalytischen Spaltung der Teere des
15 Pyrolysegases aufweist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s
20 der Kokswolkenreaktor (11) derart oberhalb des Pyrolysereaktors (16) angeordnet ist, so dass die Kokspartikel vom Pyrolysegas getragen in vertikaler Richtung vom Pyrolysereaktor (16) in den Kokswolkenreaktor (11) gelangen.
- 25 3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s
der Pyrolysereaktor (16) ein Wirbelschichtreaktor mit einem inerten Bettmaterial ist.
- 30 4. Vorrichtung nach Anspruch 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s
der Pyrolysereaktor (16) eine stationäre Wirbelschicht (6) aufweist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Pyrolysereaktor (16) und der Kokswolkenreaktor (11) im
5 Wesentlichen axial, vorzugsweise konzentrisch,
übereinander angeordnet sind.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
10 der Pyrolysereaktor (16) und der Kokswolkenreaktor (11)
gemeinsam im Wesentlichen einen zylindrischen Schuss mit
im Wesentlichen konstantem Querschnitt bilden.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
15 dadurch gekennzeichnet, dass
der Kokswolkenreaktor (11) durch wenigstens eine Verengung
des freien Strömungsquerschnitts in verschiedene
Abschnitte unterteilt ist.
- 20 8. Vorrichtung nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Kokswolkenreaktor (11) durch wenigstens ein Lochblech
(9a-9c) und/oder Düsenboden in verschiedene Abschnitte
unterteilt ist.
- 25
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Heizeinrichtung (18) ein gasdurchlässigen, porösen
Bereich, vorzugsweise in Form wenigstens eines Rohrs (13),
30 aufweist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s
die Heizeinrichtung (18) eine Mehrzahl von innerhalb des
Kokswolkenreaktors (11) vorgesehenen Heizvorrichtungen,
5 vorzugsweise in Form von Rohren (13), aufweist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s
der gasdurchlässige, poröse Bereich der Heizeinrichtung
10 (18) elektrisch beheizt ist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s
die Heizeinrichtung oberflächlich, vorzugsweise am
15 gasdurchlässigen, porösen Bereich, einen teerspaltenden
Katalysator aufweist.
13. Verfahren zur Herstellung von Synthesegas aus im
Wesentlichen festen Brennstoffen, vorzugsweise Biomasse,
20 durch Dampfreformierung, bei dem ein im Wesentlichen
fester Brennstoff in wenigstens einem Pyrolysereaktor in
Pyrolysegas und Koks zerlegt wird, bei dem der Koks in
Kokspartikel zerkleinert wird, bei dem die Kokspartikel
vom Pyrolysegas in wenigstens einen Kokswolkenreaktor
25 getragen werden, bei dem der Kokswolkenreaktor durch
wenigstens eine Heizeinrichtung beheizt wird und bei dem
im Pyrolysegas enthaltene Teere an den Kokspartikeln
katalytisch umgesetzt werden.
- 30 14. Verfahren nach Anspruch 13,
bei dem der Koks durch wenigstens eine Wirbelschicht des
Pyrolysereaktors in Kokspartikel zerkleinert wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14,
bei dem dem Pyrolysereaktor unterhalb der Wirbelschicht
ein Wirbelgas zugeführt wird und bei dem am Kopf des
5 Kokswolkenreaktors das Synthesegas abgezogen wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15,
bei dem die Kokspartikel im Kokswolkenreaktor nacheinander
eine Mehrzahl von aus Kokswolken gebildeten
10 Wirbelschichten durchlaufen.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16,
bei dem der Kokswolkenreaktor durch eine im Querschnitt
des Kokswolkenreaktors angeordnete Heizeinrichtung beheizt
15 wird.
18. Verfahren nach Anspruch 17,
bei dem einem Hohlraum der Heizeinrichtung ein
sauerstoffhaltiges Gas zugeführt wird und bei dem
20 Pyrolysegases durch das sauerstoffhaltige Gas in einem
porösen Abschnitt der Heizeinrichtung oxidiert wird.
19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18,
bei dem ein poröser Abschnitt der Heizeinrichtung
25 elektrisch beheizt wird.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19,
bei dem dem Hohlraum der Heizeinrichtung ein dynamischer
Druckwechsel aufgeprägt wird und bei dem die
30 Strömungsrichtung des Gases im porösen Abschnitt infolge
des Druckwechsels dynamisch umgekehrt wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 20,
bei dem im Pyrolysegas enthaltener Teer im porösen
Abschnitt der Heizeinrichtung an dort vorgesehenem
katalytischen Material umgesetzt wird.

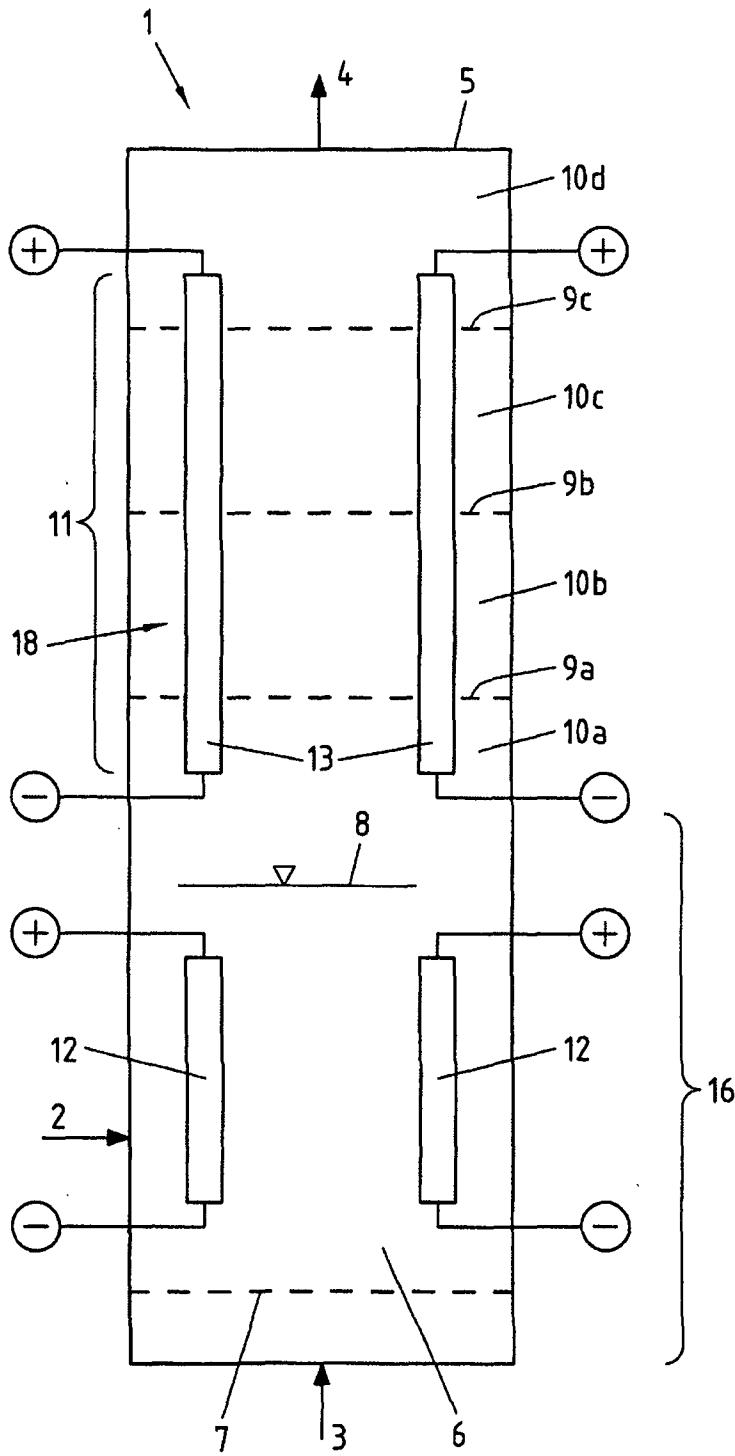


Fig.1

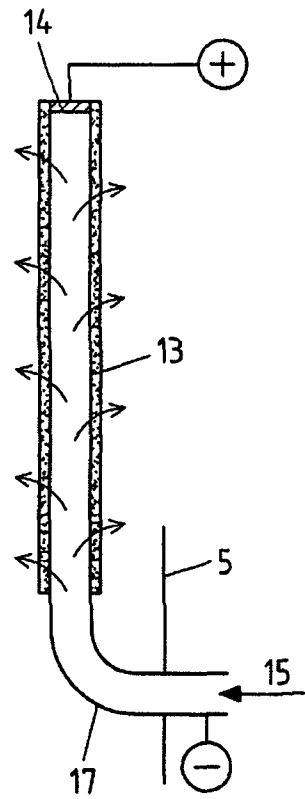


Fig.2