



(11)

EP 4 414 440 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
14.08.2024 Patentblatt 2024/33

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C10J 3/10 ^(2006.01) **C10J 3/18** ^(2006.01)
C10K 3/00 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23214410.5**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C10K 3/008; C10J 3/10; C10J 3/18; C10J 3/28;
 C10J 3/32; C10J 3/34; C10J 2200/152;
 C10J 2300/0976; C10J 2300/1246;
 C10J 2300/1253; C10J 2300/1853

(22) Anmeldetag: **05.12.2023**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
 GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
 NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
 Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
 Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Inaco Services GmbH**
8044 Zürich (CH)

(72) Erfinder: **Kowa, Herbert**
69151 Neckargemünd (DE)

(74) Vertreter: **Ullrich & Naumann PartG mbB**
Schneidmühlstrasse 21
69115 Heidelberg (DE)

(30) Priorität: 09.02.2023 DE 102023201070
06.10.2023 DE 102023209789

(54) **VERFAHREN UND ANLAGE ZUM VERGASEN EINES FESTEN KOHLENSTOFFHALTIGEN ROHSTOFFS**

(57) Es ist ein Verfahren zum Vergasen eines festen kohlenstoffhaltigen Rohstoffs mit nachfolgenden Verfahrensschritten bereitgestellt: Erzeugen von überhitztem Wasserdampf (4a); allothermes Vergasen des Rohstoffs zu einem Synthesegas-Dampfgemisch (12), wobei der Wasserdampf (4a) sowohl als Vergasungsmedium als auch als Wärmeträger für das Vergasen genutzt wird; und nicht-katalytisches, thermisches Spalten von beim Vergasen entstandenen, im Synthesegas-Dampfgemisch (12) enthaltenen Teeren durch Wärmezufuhr. Das Vergasen und das Spalten finden eigenständig, in zwei getrennt voneinander realisierten Reaktionsräumen statt. Des Weiteren ist eine Anlage zum Vergasen eines festen kohlenstoffhaltigen Rohstoffs angegeben.

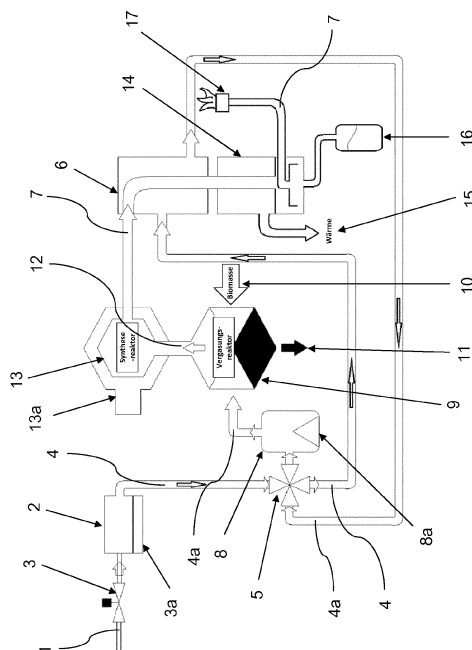


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vergasen eines festen kohlenstoffhaltigen Rohstoffs.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung eine Anlage zum Vergasen eines festen kohlenstoffhaltigen Rohstoffs.

[0003] Unter der Vergasung versteht man eine thermochemische Konversion, bei der ein fester kohlenstoffhaltiger Rohstoff mit Hilfe eines sauerstoffhaltigen Vergasungsmediums in fühlbare Wärme und ein brennbares Produktgas, dem Synthesegas, umgewandelt wird. Dabei durchläuft der feste kohlenstoffhaltige Rohstoff abhängig seiner ansteigenden Temperatur im Reaktionsraum des Vergasers nacheinander drei Prozessschritte:

- Trocknung des festen Rohstoffs unter Verflüchtigung von Wasser;
- Entgasen der flüchtigen Bestandteile im Rohstoff unter Aufspalten chemischer Strukturen im festen kohlenstoffhaltigen Rohstoff (Pyrolyse). Es bildet sich Koks;
- Heterogene Vergasung des Koks durch ein gasförmiges Vergasungsmedium;

[0004] Die Trocknung erfolgt bei der Konversion bei einer Temperatur bis 250 °C, die Pyrolyse bei Temperaturen zwischen 250 °C und 500 °C und die heterogene Vergasung bei Temperaturen über 600 °C. Die Hauptkomponenten des entstandenen Synthesegases sind Wasserstoff (H₂), Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Wasserdampf. Zurück bleiben anorganische Bestandteile des Rohstoffs wie Asche oder Schlacke, bei nicht vollständiger Konversion des Feststoffs auch noch Koks. Die unterschiedlichen Vergasungsreaktionen sind teilweise exotherm. Der gesamte Vergasungsprozess hingegen ist jedoch eine endotherme Konversion. Somit findet die Umwandlung des festen Rohstoffs ausschließlich unter Bereitstellung von Reaktionswärme statt.

[0005] Bei der "autothermen" Vergasung wird grundsätzlich Luft als Vergasungsmedium genutzt. Die notwendige Wärme wird dabei durch die partielle Oxidation, also eine teilweise Verbrennung des kohlenstoffhaltigen Rohstoffs selbst zur Verfügung gestellt. Diese Teilverbrennung folgt auf die heterogene Vergasung des Koks als zusätzlicher vierter Konversionsschritt. Dabei wird chemisch gebundene Energie des Rohstoffs für die Bereitstellung der Wärme genutzt. Durch die Verbrennung wird Kohlenstoffdioxid gebildet und der Kaltgaswirkungsgrad senkt. Der Kaltgaswirkungsgrad ist das Verhältnis von chemisch gebundener Energie im Synthesegas nach der Vergasung zum Energieinhalt des festen kohlenstoffhaltigen Rohstoffs vor der Vergasung. Auch die Verwendung von Luft als Vergasungsmedium wirkt sich nachteilig auf den Kaltgaswirkungsgrad des Verfahrens aus. Der in der Luft enthaltene Stickstoff (N₂) muss im Prozess mit aufgeheizt werden ohne dass dieser selbst

an den ablaufenden Prozessen teilnimmt. Je mehr CO₂ und N₂ im Synthesegas enthalten sind und je mehr Reaktionswärme für die Konversion benötigt wird, umso niedriger ist der Kaltgaswirkungsgrad. Reiner Sauerstoff als alternatives Vergasungsmedium steigert zwar den Kaltgaswirkungsgrad, erhöht jedoch aufgrund des hohen Aufwands bei der Luftzerlegung auch die Betriebskosten.

[0006] Erfolgt die Wärmezufuhr für die Reaktion von außen, so wird die Vergasung als "allotherm" bezeichnet. Die Wärme kann dabei beispielsweise über die Außenwände der Vergasungseinrichtung oder durch ein Wärmeträgermedium, beispielsweise heißen Sand, in den Prozess eingebracht werden. Eine weitere Möglichkeit ist das Einleiten von Wasserdampf in den Reaktor, der dann im Verfahren sowohl als Vergasungsmedium als auch als Energieträger verwendet werden kann. Mit der Zufuhr der Reaktionswärme von außen wird bei einer allothermen Vergasung kein Brennstoff verbrannt. Indem Wasserdampf als Vergasungsmedium eingesetzt wird, wird zugleich wasserstoffreiches Synthesegas erzeugt.

[0007] Im Allgemeinen wird die Zusammensetzung des Produktgases bei der Vergasung durch eine Vielzahl an Faktoren während des Vergasungsprozesses beeinflusst. Diese Zusammensetzung ist abhängig vom eingesetzten Rohstoff, dem Vergasungsmedium, der Betriebsparameter Temperatur, Druck und Verweilzeit des Rohstoffs in die Vergasungseinrichtung, der konstruktiven Ausgestaltung der Vergasungseinrichtung sowie dem Wärmeeintrag. Die einzelnen Faktoren sind jedoch nicht unabhängig voneinander einstellbar, sondern beeinflussen sich gegenseitig und wirken sich auf den Kaltgaswirkungsgrad sowie die Zusammensetzung und die Reinheit des Synthesegases aus. Nach der Vergasung können daher auch verschiedene langkettige Kohlenwasserstoffe, sogenannte Teere, als kondensierbare Bestandteile im Synthesegas enthalten sein. Die Teere sind einerseits flüchtige Komponenten, die im Rohstoff von Anfang an enthalten sind. Andererseits können durch die Konversion chemische Verbindungen größerer Molekülstrukturen thermisch aufgebrochen werden. Bei der Vergasung sind die Teere unerwünschte Nebenprodukte im Synthesegas. Sie können beim Abkühlen des Synthesegases im Nachgang der Vergasung auskondensieren und zu Verstopfungen und Verklebungen bei technischen Anlagenteilen führen.

[0008] Durch möglichst hohe Prozesstemperaturen von mindestens 1000 °C werden die Teere im Reaktionsraum der Vergasungseinrichtung thermisch gespalten und zu brennbaren Gasbestandteilen umgewandelt. Bei den in der Praxis bekannten Verfahren sind die Gasreinheit und der Kaltgaswirkungsgrad indirekt voneinander abhängig. Die Temperatur im Reaktionsraum bestimmt die reaktionskinetischen Parameter für die thermische Spaltung. Je höher die Temperatur gewählt ist, umso weniger Teere befinden sich nach Abzug aus der Vergasungseinrichtung im Synthesegas. Allerdings wird dadurch auch wesentlich der Wärmebedarf der Konversion festgelegt, d.h. mit höherer Temperatur sinkt der

Kaltgaswirkungsgrad.

[0009] Gegenwärtig wird wasserstoffreiches Synthesegas noch zum überwiegenden Anteil aus fossilen Brennstoffen wie Kohle, Öl und Gas erzeugt. Der in diesen Energieträgern gebundene Kohlenstoff wird über das Synthesegas entweder zu Basischemikalien für die Herstellung von Konsumgütern oder zu Treibstoffen umgewandelt. Die Vergasung von Abfallströmen stellt eine Möglichkeit dar, den in den Konsumgütern gebundenen Kohlenstoff am Ende des Lebenszyklus zurück in den Kohlenstoffkreislauf zu führen, der anderenfalls bei der Abfallverbrennung in Form von Kohlenstoffdioxid freigesetzt wird. Dadurch kann die Vergasung dazu beitragen, die Freisetzung von klimaschädlichen Treibhausgasen zu reduzieren.

[0010] Durch die Nutzung fester kohlenstoffhaltiger Rohstoffe biologischen Ursprungs ersetzt der gebundene Kohlenstoff aus nachwachsenden Brennstoffen den fossilen Anteil im globalen Kohlenstoffkreislauf. Jedoch ist auch hierbei der endotherme Vergasungsprozess grundsätzlich mit Energieverlusten und folglich mit der Freisetzung von Kohlenstoffdioxid verbunden. Im Hinblick auf den Klimawandel und den fortschreitenden Ausstoß des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid ist eine dauerhafte Entnahme von Kohlenstoff aus dem globalen Kohlenstoffkreislauf jedoch langfristig notwendig und gewünscht. Dies ist allerdings nur sinnvoll, wenn der Kohlenstoff über längere Zeit stabil und ohne großen Aufwand in Materie gebunden werden kann, beispielsweise als Material für Karbon- oder Kohlefaserwerkstoffe, in Baumaterial wie Beton oder in fester kohleähnlicher Form wie Koks. Koks hat einen deutlich höheren Anteil an Kohlenstoff bezogen auf die Gesamtmasse als der ursprüngliche kohlenstoffhaltige Rohstoff. Dabei kann Koks einerseits langfristig in Lagerstätten eingelagert werden. Andererseits kann das Material zur Bodenverbesserung oder als Trägerstoff für Düngemittel in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Bei Vergasungsverfahren ist es nach dem Stand der Technik nicht vorgesehen, festen Kohlenstoffmaterial aus dem Verfahren zu erhalten, da das den Kaltgaswirkungsgrad der Vergasung aufgrund der unvollständigen Umsetzung verringert.

[0011] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Vergasen eines festen kohlenstoffhaltigen Rohstoffs anzugeben, welches gegenüber dem Stand der Technik zu einer höheren Gasreinheit des Synthesegases führt und einen verbesserten Kaltgaswirkungsgrad aufweist.

[0012] Erfindungsgemäß wird die voranstehende Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Danach weist das in Rede stehende Verfahren zum Vergasen eines festen kohlenstoffhaltigen Rohstoffs nachfolgende Verfahrensschritte auf:

- Erzeugen von überhitztem Wasserdampf;
- allothermes Vergasen des Rohstoffs zu einem Synthesegas-Dampfgemisch, wobei der Wasserdampf

sowohl als Vergasungsmedium als auch als Wärmeträger für das Vergasen genutzt wird; und

- nicht-katalytisches, thermisches Spalten von beim Vergasen entstandenen, im Synthesegas-Dampfgemisch enthaltenen Teeren durch Wärmezufuhr.

[0013] Das Vergasen und das Spalten finden eigenständig, in zwei getrennt voneinander realisierten Reaktionsräumen statt.

[0014] In Bezug auf die Anlage ist die voranstehende Aufgabe durch die Merkmale des nebengeordneten Anspruchs 12 gelöst. Demnach ist eine Anlage zum Vergasen eines festen kohlenstoffhaltigen Rohstoffs, insbesondere nach einem Verfahren nach Anspruch 1 bis 11, angegeben. Die Anlage weist auf:

- eine Dampferzeugereinrichtung zum Erzeugen von überhitztem Wasserdampf;
- eine Vergasungseinrichtung zum Vergasen von Rohstoffen mit überhitztem Wasserdampf; und
- eine Syntheseeinrichtung zum nicht-katalytischen, thermischen Spalten von beim Vergasen entstandenen, im Synthesegas-Dampfgemisch enthaltenen Teeren durch Wärmezufuhr.

[0015] Die Vergasungseinrichtung und die Syntheseeinrichtung weisen jeweils einen Reaktionsraum auf. Beide Reaktionsräume sind getrennt voneinander realisiert.

[0016] In erfindungsgemäßer Weise ist zunächst erkannt worden, dass durch eine Trennung der Reaktionsräume für die allotherme Vergasung und das thermische Spalten die voranstehende Aufgabe auf überraschend einfache Weise gelöst wird. Im Konkreten erfolgt die allotherme Vergasung von festem kohlenstoffhaltigen Rohstoff in einem ersten Reaktionsraum. Diesem Reaktionsraum wird überhitzter Wasserdampf als Vergasungsmedium und als Wärmeträger zugeführt. Das nicht-katalytische, thermische Spalten findet in einem zweiten, räumlich vom ersten Reaktionsraum getrennten, Reaktionsraum unter Wärmezufuhr statt. Bezogen auf die zugrundeliegende Erfindung ist erkannt worden, dass durch ein zweistufiges Verfahren die erforderlichen Betriebsbedingungen der beiden thermochemischen Konversionen, das Vergasen und das Spalten, unabhängig voneinander derart eingestellt werden können, dass der feste kohlenstoffhaltige Rohstoff effizient vergast wird. Für das Vergasen kann eine niedrige Temperatur im Reaktionsraum eingestellt werden. Die bei dieser Prozessführung im Synthesegas enthaltenen Teere werden mit dem Einleiten in die Syntheseeinrichtung auf die für das Umwandeln dieser Teere erforderlichen Temperatur aufgeheizt und thermisch gespalten. Folglich können die beiden Konversionen bei unterschiedlichen Temperaturen stattfinden. Das führt zu einer Energieeinsparung und macht das Verfahren besonders effizient.

[0017] Folglich ist mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ein Verfahren zum Vergasen eines festen kohlen-

stoffhaltigen Rohstoffs bereitgestellt, wonach gegenüber dem Stand der Technik eine höhere Gasreinheit des Synthesegases und ein verbesserter Kaltgaswirkungsgrad erreicht wird.

[0018] Beide Reaktionsräume, der Vergasungsraum und der Syntheseraum, sind räumlich getrennt voneinander ausgeführt. Der Ausdruck "räumlich getrennt" ist bezogen auf die zugrundeliegende Erfindung im weitesten Sinne zu verstehen. Er beschreibt eine Mehrzahl an abgegrenzten Räumen, in denen unabhängig voneinander einzelne Verfahrensschritte, insbesondere Konversionsschritte, stattfinden. Die Räume liegen erfindungsgemäß in eigenständigen Einrichtungen, insbesondere in einer Vergasungseinrichtung für das Vergasen und in einer Syntheseeinrichtung für das thermische Spalten, vor. Die Einrichtungen können einerseits derart angeordnet sein, dass sie aneinander gekoppelt vorliegen und direkt ineinander übergehen. Mindestens ein Auslass einer Einrichtung ist mit mindestens einem Einlass einer zweiten Einrichtung verbunden. Alternativ können beide Einrichtungen auch mit Abstand zueinander positioniert sein, wobei die zwischen den Einrichtungen ausgetauschten Stoff- und/oder Wärmeströme durch geeignete Mittel, insbesondere Rohrleitungen zu- und/oder abgeführt werden.

[0019] Der Begriff "fester kohlenstoffhaltiger Rohstoff" ist bezogen auf die zugrundeliegende Erfindung im weitesten Sinne zu verstehen und bezeichnet grundsätzlich jedes organische Material, welches das Element Kohlenstoff enthält. Darunter fallen unter anderen fossile Energieträger wie beispielsweise Braun- und Steinkohle, feste Biomasse, wie insbesondere Holz, Torf, Gräser und Stroh, aber auch biologische Abfallströme wie Ernterückstände, insbesondere Kompost, Klärschlamm, Gärreste aus Biogasanlagen, Grün- und Strauchschnitt sowie Rückstände aus der Lebensmittelproduktion. Letztendlich umfasst der Begriff auch die organischen Abfallströme aus Konsumgütern, insbesondere aus Verpackungsmaterial, Alttextilien, Sperr- und Hausmüll, Altpapier und Altreifen. Der feste kohlenstoffhaltige Rohstoff liegt zweckmäßigerweise im festen Aggregatzustand als Schüttgut, insbesondere als pulvriges, körniges oder auch stückiges Gemenge, vorzugsweise als Granulat oder Pulver vor. Alternativ kann der Rohstoff die Form von Pellets oder Hackschnitzel aufweisen.

[0020] Unter dem Begriff "überhitzter Wasserdampf" ist gasförmiges Wasser zu verstehen, der in einer Dampferzeugungseinrichtung über die Normalsiedetemperatur hinaus erhitzt worden ist. Dazu wird Prozesswasser unter Wärmezufuhr bis zu seinem Normalsiedepunkt erhitzt. Bei Wasser entspricht diese 100 °C. Anschließend wird das siedende flüssige Wasser isobar verdampft und im dampfförmigen Zustand weiter auf die erforderliche Prozesstemperatur erhitzt. Bei der allothermen Vergasung werden Temperatur bis 1500 °C verwendet.

[0021] Unter dem Begriff "Synthesegas" ist bezogen auf die zugrundeliegende Erfindung ein gasförmiges Stoffgemisch zu verstehen, dass grundsätzlich aus Was-

serstoff (H₂), Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Wasserdampf als Komponenten aufweist. Je nach Prozessführung können bei der Vergasung des organischen Rohstoffs auch langkettige Kohlenwasserstoffe, insbesondere kondensierbare Teere, gebildet werden, die zusätzlich im heißen Synthesegas als Dämpfe enthalten sind. Alternativ oder zusätzlich dazu kann das heiße Synthesegas feine partikuläre Substanzen, insbesondere Ruß und/oder Flugasche, enthalten.

[0022] Als "Synthesegas-Dampfgemisch" wird bezogen auf die zugrundeliegende Erfindung das Fluidgemisch aus dem Reaktionsraum nach dem Vergasen verstanden, dass neben dem beim Vergasen entstandenen Synthesegasbestandteilen nicht umgesetztes Vergasungsmedium, den überhitzten Wasserdampf, enthält.

[0023] Der Begriff "Koks" beschreibt jeglichen festen kohlenstoffhaltigen Rohstoff, der beim Vergasen nicht oder nicht vollständig in den gasförmigen Zustand umgesetzt worden ist. Der Koks hat einen hohen Kohlenstoffanteil im Feststoff bis zu 95 % bezogen auf die Gesamtmasse. Nach dem Herstellungsprozess ist der Koks porös und besitzt eine niedrige Dichte. Durch die poröse Struktur des Feststoffes weist der Koks eine große spezifische Oberfläche auf. Durch weiterführende Funktionalisierung kann aus dem Koks mittels Aktivierungsprozess Aktivkohle hergestellt werden. Dabei wird die spezifische Oberfläche des Feststoffs durch Dampf weiter vergrößert.

[0024] In einer vorteilhaften Ausführungsform erfolgt das thermische Spalten in einer Syntheseeinrichtung, wobei im Wesentlichen ein Teergehalt im Synthesegas reduziert wird. Teere sind nicht vollständig umgesetzte Kohlenwasserstoffe, die den Kaltgaswirkungsgrad verringern. Durch Reduzierung des Teergehalts wird die chemisch gebundene Energie im Synthesegas erhöht. Gleichzeitig verringert sich die Menge an Teer, die sich auf den Anlagenteilen ablagern kann.

[0025] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung erfolgt das allotherme Vergasen in einer Vergasungseinrichtung, wobei der Wasserdampf als Vergasungsmedium beim Vergasen des Rohstoffs im Wesentlichen einen Wasserstoffanteil im Synthesegas erhöht. Der Wasserdampf dient dem festen kohlenstoffhaltigen Rohstoff als Reaktionspartner und bringt Wasserstoffmoleküle in die Vergasungsreaktion ein. Dadurch wird der Wasserstoffanteil im Synthesegas gegenüber einer Vergasung mit Sauerstoff oder Luft erhöht. Wasserstoff ist in der chemischen Industrie ein wertvoller Ausgangsstoff für Synthesereaktionen. Dieser wird üblicherweise durch Abtrennungsvorgängen aus Synthesegas gewonnen. Ein höherer Anteil an Wasserstoff im Synthesegas reduziert dabei den Aufwand.

[0026] Des Weiteren ist es denkbar, dass der Rohstoff beim Vergasen weitestgehend vollständig zu Synthesegas umgesetzt wird. Für eine möglichst hohe Ausbeute an Synthesegas wird die Verweilzeit in der Vergasungseinrichtung derart gewählt, dass der eingesetzte Roh-

stoff weitestgehend vollständig mit dem Wasserdampf umgesetzt wird. Dabei wird nahezu sämtlicher fester kohlenstoffhaltiger Rohstoff zu Synthesegas, sodass ein hoher Kaltgaswirkungsgrad erreicht wird.

[0027] In vorteilhafter Weise wird ein als Vergasungsrückstand entstandener Koks aus der Vergasungseinrichtung abgetrennt. Der nicht vollständig vergaste Koks kann einer stofflichen Verwertung, beispielsweise der Bodenaufwertung und/oder als Trägersubstrat für Düngemittel zugeführt werden. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass der nicht vollständig vergaste Koks dauerhaft eingelagert wird, beispielsweise in erschöpften Lagerstätten und/oder Minen.

[0028] In weiter vorteilhafter Weise erfolgt die Wärmezufuhr beim thermischen Spalten der Teere durch eine externe Wärmequelle. Diese überträgt die Wärme von außerhalb der Syntheseanlage. Somit befinden sich keine strömungsbehindernden Einbauten in der Syntheseanlage an denen sich Teere anlagern können. Der Wartungsaufwand und das Risiko von Ausfällen werden somit reduziert.

[0029] In vorteilhafter Weise erfolgt die Wärmezufuhr beim thermischen Spalten zumindest teilweise durch überhitzten Wasserdampf und/oder elektrische Energie. Beide Energieträger ermöglichen eine weitestgehend definierte Einstellung des Wärmestroms, der in die Syntheseanlage geleitet wird. Dadurch lässt sich die Reaktionstemperatur genau einstellen.

[0030] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird für das Erzeugen des überhitzten Wasserdampfs im Verfahren erzeugtes Synthesegas verwendet. Dadurch wird stoffgebundene Energie, die anderweitig nicht verwertet werden kann, zurückgeführt. Das senkt den Energiebedarf des Verfahrens.

[0031] Des Weiteren ist es denkbar, dass der überhitzte Wasserdampf stark überhitzter Wasserdampf, vorzugsweise mit einer Temperatur zwischen 375 °C und 1500 °C, ist. Durch die Temperatur des überhitzten Wasserdampfs kann der Wärmeeintrag bei der Vergasung auf die Erfordernisse des Rohstoffs angepasst werden. Die Temperatur des überhitzten Wasserdampfs bestimmt neben dem Dampfmassenstrom den Wärmeeintrag. Je höher die Temperatur des Wasserdampfs gewählt ist, umso mehr Wärme wird in die allotherme Vergasung eingetragen.

[0032] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird der überhitzte Wasserdampf beim Vergasen im Gegenstrom zum Rohstoff geführt. Dieser Rohstoff wird dabei von oben in den Reaktionsraum eingebracht und bewegt sich der Schwerkraft folgend zum Boden. Der überhitzte Wasserdampf wird von unten in den Reaktionsraum eingeleitet und steigt in diesem durch den Rohstoff auf. Dadurch bewegt sich der Wasserdampf in entgegengesetzter Richtung zum Rohstoff. Von unten nach oben bilden sich in der Rohstoffschüttung drei Reaktionszonen mit den entsprechenden Prozessschritten Vergasung, Pyrolyse und Trocknung auf. Der Begriff "Reaktionszone" definiert im Allgemeinen einen Bereich

innerhalb eines Reaktionsraums, in der überwiegend eine Art von Umwandlungsschritt stattfindet. In der Praxis sind die einzelnen Reaktionszonen beim Vergasen aufgrund der unterschiedlichen Temperaturniveaus gegeneinander gut abgrenzbar.

[0033] In weiter vorteilhafter Weise werden die im Synthesegas-Dampfgemisch enthaltenen Teere zumindest teilweise durch Kondensation aus dem Synthesegas-Dampfgemisch entfernt. Das reduziert einerseits den Aufwand, Teere im Synthesegas thermisch zu spalten. Andererseits können die abgetrennten Teere stofflich verwertet werden, insbesondere als Raucharoma, als Rohstoff für die chemische Industrie und/oder als Brennstoff.

[0034] Die erfindungsgemäße Anlage zum Vergasen eines festen kohlenstoffhaltigen Rohstoffs umfasst eine Dampferzeugereinrichtung zum Erzeugen von überhitztem Wasserdampf, eine Vergasungseinrichtung zum Vergasen von festen kohlenstoffhaltigen Rohstoffen mit überhitztem Wasserdampf und eine Syntheseanlage zum thermischen Spalten von Teeren unter Wärmezufuhr. Die Vergasungseinheit und die Syntheseanlage bilden jeweils einen Reaktionsraum aus, die räumlich getrennt voneinander angeordnet sind.

[0035] Die einzelnen Einrichtungen der Anlage können in vorteilhafter Weise als eigenständige Module ausgeführt sein. Dadurch kann eine flexible Skalierung der einzelnen Verfahrensschritte in der Anlage ermöglicht werden, indem mehrere Module parallel den gleichen Prozess ausführen. Unter dem Begriff "Modul" wird für die erfindungsgemäße Anlage ein Apparat oder eine Einrichtung verstanden, die eigenständig und räumlich getrennt einen Verfahrensschritt durchführt. Einerseits wird durch eine modulare Bauweise die Betriebssicherheit der Anlage erhöht, indem Redundanzen vorgesehen sein können. Andererseits kann die Auslastung der Anlage gesteigert werden, da für die Wartung einzelner Module nicht die komplette Anlage außer Betrieb gesetzt werden muss. Letztendlich können durch den modularen Aufbau des Verfahrens zwischen den einzelnen Verfahrensschritten Einrichtungen für den Wärmeaustausch integriert werden.

[0036] In einer vorteilhaften Ausführungsform weist die Vergasungseinrichtung mindestens einen Auslass, insbesondere eine Materialschleuse, Klappe und/oder einen Schieber, für beispielsweise Koks auf. Dabei besteht die Möglichkeit, den Koks bei unterschiedlichen Verweilzeiten im Reaktionsraum aus der Vergasungseinheit zu entnehmen. Es ist daher denkbar, dass Koks aus der Anlage entnommen wird, der noch nicht vollständig zu Synthesegas umgesetzt ist, um ihn einer weiterführenden stofflichen Verwertung zuzuführen.

[0037] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die Vergasungseinrichtung als Festbettvergaser ausgeführt. Bei einem Festbettvergaser lässt sich der Rohstoff ohne aufwändige und kostenintensive Aufbereitung als Schüttgut oder als stückiges Gemenge in den Reaktionsraum einbringen. Der Brennstoff wird von oben in die

Vergasungseinrichtung eingetragen und aufgrund der dort vorherrschenden Bedingungen umgesetzt. Indem kontinuierlich neuer Brennstoff in die Vergasungseinrichtung eingebracht wird und auf den bereits reagierenden Rohstoff geschichtet wird, sind im Vergaser permanent die drei Reaktionszonen Trocknung, Pyrolyse und Vergasung vorhanden.

[0038] Vorzugsweise ist der Festbettvergaser als Gegenstromfestbettvergaser ausgeführt. Durch die entgegengesetzte Strömungsrichtung des überhitzten Wasserdampfs zum umgesetzten Rohstoff in der Vergasungseinrichtung wird die vorhandene Wärme in die unterschiedlichen Rohstoffschichten je nach Reaktionszone effektiv eingetragen. Der überhitzte Wasserdampf verliert über die einzelnen Reaktionszonen, die dieser vom unteren Ende des Vergasers bis an den Vergaserkopf durchläuft, stetig an Temperatur. Das liegt zum einen daran, dass in den einzelnen Reaktionszonen endotherme Reaktionen ablaufen, die Wärme benötigen. Andererseits muss der Brennstoff selbst auf das Temperaturniveau der entsprechenden Reaktionszone aufgeheizt werden.

[0039] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist eine Kondensationseinrichtung zwischen Vergasungseinrichtung und Syntheseeinrichtung angeordnet, sodass diese Teere kondensiert und abgeschieden werden. Die Kondensationseinrichtung kühlt das Synthesegas-Dampfgemisch unter den Taupunkt der Teere ab, wobei diese auskondensieren. Dadurch können die Teere in flüssiger Form kontrolliert aus dem Synthesegas-Dampfgemisch abgeschieden werden. Durch das Abscheiden der Teere zwischen Vergasungseinrichtung und Syntheseeinrichtung reduziert sich der Aufwand, diese thermisch zu spalten. Gleichzeitig können die Teere stofflich verwertet werden, insbesondere als Raucharoma, als Rohstoff für die chemische Industrie und/oder als Brennstoff.

[0040] Vorzugsweise weist die Kondensationseinrichtung eine Mehrzahl von definierten Abschnitten auf, wobei die Abschnitte nacheinander abnehmende Betriebstemperaturen aufweisen, sodass die Teere in den einzelnen Abschnitten entsprechend ihres Taupunkts kondensiert und abgeschieden werden. Dies ermöglicht es in Abhängigkeit der gewählten Temperaturen in der Kondensationseinrichtung, definierte Fraktionen an Teeren aus dem Verfahren abzuscheiden.

[0041] In weiter vorteilhafter Weise ist die Kondensationseinrichtung ein Wärmetauscher, insbesondere ein Rohrbündelwärmetauscher. Die bei der Abkühlung des Synthesegas-Dampfgemischs und Kondensation der Teere entzogene Wärme wird auf den überhitzten Wasserdampf aus der Dampferzeugereinrichtung übertragen.

[0042] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung liegt die Betriebstemperatur der Syntheseeinrichtung zwischen 700°C und 1600°C, vorzugsweise bei einer Temperatur zwischen 1000°C und 1400°C. Durch das Einstellen der Betriebstemperatur auf einen bestimmten Bereich wird erreicht, dass die Bedingungen

für ein schnelles und möglichst vollständiges thermisches Spalten der Teere eingehalten werden.

[0043] Des Weiteren ist es denkbar, dass der feste kohlenstoffhaltige Rohstoff vor dem Vergasen getrocknet und/oder vorgewärmt wird. Dadurch kann der Energiebedarf bei der Konversion gesenkt werden. Für die Trocknung und/oder Vorwärmung wird Wärme mit einem niedrigen Temperaturniveau benötigt. Dies kann beispielsweise Abwärme aus dem Verfahren, insbesondere Wärme, die dem heißen Synthesegas beim Abkühlen nach dem thermischen Spalten entzogen wird, sein.

[0044] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung umfasst das Verfahren eine Fördereinrichtung, insbesondere eine Förderschnecke, ein Förderband, eine pneumatische Förderung und/oder eine Kippvorrichtung, die den festen kohlenstoffhaltigen Rohstoff in die Vergasungseinrichtung befördert. Die Beschickung der Vergasungseinrichtung kann dabei kontinuierlich oder diskontinuierlich erfolgen. Die Fördereinrichtung kann eine automatische oder manuelle Schleuse umfassen.

[0045] In weiter vorteilhafter Weise umfasst die Vergasungseinrichtung ein mechanisches Bewegungselement. Aufgrund der Geometrie der Vergasungseinrichtung, den Prozessbedingungen im Reaktionsraum und der Beschaffenheit des Rohstoffs kann es erforderlich sein, die Schüttung aus festem kohlenstoffhaltigen Rohstoff im Reaktionsraum in Bewegung zu versetzen. Beispielsweise kann die Rohstoffschüttung im Reaktionsraum eine agglomerierte oder gesinterte Brennstoffschicht bilden, die durch einen Brecher mechanisch aufgebrochen werden muss damit die Vergasungseinrichtung nicht verstopft. Denkbar ist auch eine Ausführung als Rührer oder Mischer, der die Rohstoffschüttung umwälzt und somit eine verbesserte Durchmischung von Rohstoff und Vergasungsmedium und/oder einen besseren Wärmeübergang ermöglicht. Letztendlich kann durch einen mechanisch beweglichen Rost, insbesondere durch ein Walzen-, Vorschub- oder Rückschubrost, der Brennstoff innerhalb der Vergasungseinheit horizontal über verschiedene Bereiche bewegt werden.

[0046] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens wird die im heißen Synthesegas enthaltene Wärme nach dem thermischen Spalten zur Rückgewinnung von Wärme auf das Prozesswasser und/oder auf den überhitzten Wasserdampf übertragen.

[0047] In weiter vorteilhafter Weise wird der überhitzte Wasserdampf in einer Dampferzeugungseinrichtung erzeugt, die aus mehreren eigenständigen Modulen besteht. Mindestens ein Modul ist als Dampferzeuger ausgeführt und verdampft Prozesswasser zu Wasserdampf. Mindestens ein weiteres Modul, ein Dampfüberhitzer, erhitzt den Wasserdampf auf die geforderte Prozesstemperatur. Die modulare Ausführung der Dampferzeugungseinrichtung bietet einerseits die Möglichkeit durch mehrere parallel ausgeführte Module gleicher Funktion eine Redundanz gegenüber Störungen und Ausfällen im Verfahren vorzusehen. Andererseits kann durch eine entsprechende Prozessführung eine Wärmeintegration zwi-

schen Dampferzeugermodulen und Dampfüberhitzern mittels regenerativen Wärmetauschern, insbesondere Platten-, Rotations- oder Rohrbündelwärmeübertrager, oder ein Abscheiden von auskondensierter Flüssigkeit im Wasserdampfstrom mittels Dampftrommel vorgesehen werden.

[0048] Alternativ oder zusätzlich ist zwischen mindestens einem Dampferzeuger und mindestens einem Dampfüberhitzer mindestens ein Dampfmischer angeordnet, der Wasserdampf mit unterschiedlichem Temperaturniveau homogen vermischt. Dies bietet den Vorteil, dass Wasserdampf mit einem homogenen, gleichbleibenden Zustand bereitgestellt wird.

[0049] Des Weiteren ist es denkbar, dass mindestens ein Modul der Dampferzeugereinrichtung zumindest teilweise im Verfahren erzeugtes Synthesegas für die Bereitstellung der Wärme nutzt. Dadurch wird der Energiebedarf gesenkt.

[0050] Des Weiteren ist es denkbar, dass Wasserdampf im Synthesegas nach dem Abkühlen kondensiert und als Wasser abgeschieden und gesammelt wird. Das Wasser kann als Prozesswasser für das Erzeugen von überhitzten Wasserdampf wiederverwendet wird.

[0051] In weiter vorteilhafter Weise umfasst das Verfahren mindestens eine Vorrichtung zur Gasreinigung. Die Gasreinigungsvorrichtung entfernt partikulärer Substanzen, beispielsweise Flugasche und/oder Ruß, und/oder gasförmige Schadstoffe, insbesondere schwefel- und/oder chlorhaltige Komponenten, und/oder Nebenprodukte, insbesondere Kohlenstoffdioxid, aus dem heißen Synthesegas. Die Gasreinigungsvorrichtung kann als Gaswäscher und/oder als Druckwechseladsorption ausgeführt sein.

[0052] Des Weiteren ist es denkbar, dass die Anlage mindestens einen Fliehkraftabscheider, insbesondere einen Zyklonabscheider, und/oder einem Venturiwäscher und/oder eine Filtervorrichtung umfasst. Dadurch werden partikuläre Substanzen aus dem Synthesegas abgetrennt.

[0053] Alternativ oder zusätzlich ist mindestens eine Filtereinrichtung, insbesondere ein Elektro-, Schlauch-, Taschen- oder Kerzenfilter zum Abtrennen partikulärer Substanzen aus dem Synthesegas vorgesehen. Eine Filtereinrichtung ermöglicht die Abtrennung von feinsten Partikel aus dem Synthesegas.

[0054] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird das Synthesegas nach dem Abzug aus der Syntheseeinrichtung durch einen Wärmetauscher, insbesondere durch einen Platten-, Rohrbündel- oder Rotationswärmetauscher, abgekühlt. Dadurch kann Abwärme aus dem Synthesegas zurückgewonnen werden.

[0055] Alternativ oder zusätzlich wird im Synthesegas enthaltener Wasserdampf, der infolge der Abkühlung des Synthesegases kondensiert, durch eine Kondensationseinrichtung, insbesondere einen Kondensatabscheider, aus dem Synthesegase abgetrennt. Das erhöht den Energieinhalt des Synthesegases.

[0056] Des Weiteren ist es denkbar, dass das abge-

trennte Wasser aus der Kondensationseinrichtung in mindestens einem Kondensatsammelbehälter gesammelt wird und/oder der Dampferzeugereinrichtung als Prozesswasser zugeführt wird. Somit kann der Wasserbedarf gesenkt werden

[0057] In vorteilhafter Weise werden die einzelnen Verfahrensschritte bei atmosphärischen Druckbedingungen, somit ohne Überdruck betrieben. Dadurch fallen aufwändige Regelungs- und Überwachungssysteme weg. Auch reduziert sich der Investitionsaufwand für Apparate und Armaturen. Es wird eine einfache, kostengünstige Verfahrensdurchführung ermöglicht.

[0058] Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Anspruch 1 nachgeordneten Ansprüche und andererseits auf die nachfolgende Erläuterung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung werden auch im Allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt

[0059] Fig. 1 in einer schematischen Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Anlage.

[0060] Das Prozesswasser 1 wird in einer Zuleitung in den Dampferzeuger 2 eingespeist und verdampft. Die Wärme wird über eine Heizung 2a bereitgestellt. Die Zufuhr von Prozesswasser 1 wird über ein Ventil 3 gesteuert. Der Wasserdampf 4 wird über eine Dampfleitung in einen Dampfmischer 5 geführt, wo er mit überhitzten Wasserdampf 4a vollständig vermischt wird. Aus dem Dampfmischer 5 treten zwei Dampfströme aus. Ein Teil des Wasserdampfes 4 wird zum Synthesegas-Dampfwärmetauscher 6 geleitet, wo das heiße Synthesegas 7 abkühlt und der Wasserdampf 4 gleichzeitig überhitzt wird. Aus dem Synthesegas-Dampfwärmetauscher 6 tritt überhitzter Wasserdampf 4a aus, der zurück in den Dampfmischer 5 geführt wird. Der andere Teil des Wasserdampfes 4 wird aus dem Dampfmischer 5 in den Dampfüberhitzer 8 geleitet und dort durch eine Heizung 8a weiter aufgeheizt, sodass überhitzter Wasserdampf 4a für die Vergasung entsteht.

[0061] Der überhitzte Wasserdampf 4a für die Vergasung wird in die Vergasungseinrichtung 9 geleitet und dient dort als Vergasungsmedium. Die Biomasse wird über eine Fördereinrichtung 10 in die Vergasungseinrichtung 9 eingebracht und dort zu Synthesegas 7 umgesetzt. Der nicht umgesetzte Anteil an fester Biomasse wird als Koks über einen Auslass 11 am unteren Ende aus der Vergasungseinrichtung 9 ausgeschleust. Das gebildete Synthesegas wird zusammen mit dem nicht umgesetzten Wasserdampf als Synthesegas-Wasserdampfgemisch 12 über eine Fluidleitung in die Syntheseeinrichtung 13 eingeleitet. In der Syntheseeinrichtung 13 werden unter Wärmezufuhr die im Synthesegas-Wasserdampfgemisch 12 enthaltenen Teere zu brennbaren Gasbestandteilen umgesetzt. Die Wärmezufuhr erfolgt

mit einer Heizung als externe Wärmequelle 13a.

[0062] Das heiße Synthesegas 7 wird nach dem Verlassen der Syntheseeinrichtung 13 in den Synthesegas-Dampfwärmetauscher 6 geführt und abgekühlt. Das heiße Synthesegas 7 wird daraufhin in einen zweiten Wärmetauscher, den Kondensations-Wärmetauscher 14 geleitet. Durch das Abkühlen des heißen Synthesegases 7 wird Prozesswärme über eine Wärmesenke 15 aus dem Kondensations-Wärmetauscher 14 abgeführt und Wasser kondensiert aus. Das Wasser wird in einem Kondensat-Sammelbehälter 16 gesammelt. Das Synthesegas 7 wird anschließend über eine Fackel 17 verbrannt.

[0063] Hinsichtlich weiterer vorteilhafter Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Anlage wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf den allgemeinen Teil der Beschreibung sowie auf die beigefügten Ansprüche verwiesen.

[0064] Schließlich sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die voranstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Anlage lediglich zur Erörterung der beanspruchten Lehre dienen, diese jedoch nicht auf die Ausführungsbeispiele einschränken.

Bezugszeichenliste

[0065]

1	Prozesswasser
2	Dampferzeuger
2a	Heizung
3	Ventil
4	Wasserdampf
4a	Überhitzter Wasserdampf
5	Dampfmischer
6	Synthesegas-Dampfwärmetauscher
7	Synthesegas
8	Dampfüberhitzer
8a	Heizung
9	Vergasungseinrichtung
10	Fördereinrichtung
11	Auslass
12	Synthesegas-Wasserdampfgemisch
13	Syntheseeinrichtung
13a	Externe Wärmequelle
14	Kondensations-Wärmetauscher
15	Wärmesenke
16	Kondensat-Sammelbehälter
17	Fackel

Patentansprüche

- Verfahren zum Vergasen eines festen kohlenstoffhaltigen Rohstoffs mit den Verfahrensschritten:
 - Erzeugen von überhitztem Wasserdampf (4a);
 - allothermes Vergasen des Rohstoffs zu einem

Synthesegas-Dampfgemisch (12), wobei der Wasserdampf (4a) sowohl als Vergasungsmedium als auch als Wärmeträger für das Vergasen genutzt wird; und

- nicht-katalytisches, thermisches Spalten von beim Vergasen entstandenen, im Synthesegas-Dampfgemisch (12) enthaltenen Teeren durch Wärmezufuhr;

wobei das Vergasen und das Spalten eigenständig, in zwei getrennt voneinander realisierten Reaktionsräumen stattfindet.

- Verfahren nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet, dass** das Spalten in einer Syntheseeinrichtung (13) erfolgt, wobei im Wesentlichen ein Teergehalt im Synthesegas (7) reduziert wird.

- Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 **dadurch gekennzeichnet, dass** das Vergasen in einer Vergasungseinrichtung (9) erfolgt, wobei der Wasserdampf als Vergasungsmedium beim Vergasen des Rohstoffs im Wesentlichen einen Wasserstoffanteil im Synthesegas (7) erhöht.

- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3 **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rohstoff beim Vergasen weitestgehend vollständig zu Synthesegas (7) umgesetzt wird.

- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 **dadurch gekennzeichnet, dass** ein als Vergasungsrückstand entstandener Koks aus der Vergasungseinrichtung (9) abgetrennt wird.

- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärmezufuhr beim thermischen Spalten der Teere durch eine externe Wärmequelle (13a) erfolgt.

- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärmezufuhr beim thermischen Spalten zumindest teilweise durch überhitzten Wasserdampf (4a) und/oder elektrische Energie erfolgt.

- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 **dadurch gekennzeichnet, dass** für das Erzeugen des überhitzten Wasserdampfs (4a) im Verfahren erzeugtes Synthesegas (7) verwendet wird.

- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 **dadurch gekennzeichnet, dass** der überhitzte Wasserdampf (4a) stark überhitzter Wasserdampf (4a), vorzugsweise mit einer Temperatur zwischen 375 °C und 1500 °C, ist.

- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 **da-**

durch gekennzeichnet, dass der überhitzte Wasserdampf (4a) beim Vergasen im Gegenstrom zum Rohstoff geführt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 **dadurch gekennzeichnet, dass** die im Synthesegas-Dampfgemisch (12) enthaltenen Teere zumindest teilweise durch Kondensation aus dem Synthesegas-Dampfgemisch (12) entfernt werden. 5
12. Anlage zum Vergasen eines festen kohlenstoffhaltigen Rohstoffs, insbesondere mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, aufweisend: 10
 - eine Dampferzeugereinrichtung zum Erzeugen von überhitztem Wasserdampf (4a), 15
 - eine Vergasungseinrichtung (9) zum Vergasen von Rohstoffen mit überhitztem Wasserdampf (4a), und
 - eine Syntheseeinrichtung (13) zum nicht-katalytischen, thermischen Spalten von beim Vergasen entstandenen, im Synthesegas-Dampfgemisch (12) enthaltenen Teeren durch Wärmezufuhr, 20

25

wobei die Vergasungseinrichtung (9) und die Syntheseeinrichtung (13) jeweils einen Reaktionsraum aufweisen, wobei die beiden Reaktionsräume getrennt voneinander realisiert sind. 30

- 13. Anlage nach Anspruch 12 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vergasungseinrichtung (9) mindestens einen Auslass (11), insbesondere eine Materialschleuse, Klappe und/oder einen Schieber, für beispielsweise Koks aufweist. 35
- 14. Anlage nach Anspruch 12 oder 13 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vergasungseinrichtung (9) als Festbettvergaser, insbesondere als Gegenstromfestbettvergaser, ausgeführt ist. 40
- 15. Anlage nach einem der Ansprüche 12 bis 14 **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kondensationseinrichtung zwischen Vergasungseinrichtung (9) und Syntheseeinrichtung (13) angeordnet ist, 45

wobei vorzugsweise die Kondensationseinrichtung zum Abkühlen der im Synthesegas-Dampfgemisch (12) enthaltenen Teere ausgebildet ist, sodass diese Teere kondensiert und abgeschieden werden, 50

wobei weiter vorzugsweise die Kondensationseinrichtung eine Mehrzahl von definierten Abschnitten aufweist, wobei die Abschnitte nacheinander abnehmende Betriebstemperaturen aufweisen, sodass die Teere in den einzelnen Abschnitten entsprechend ihres Taupunkts kondensiert und abgeschieden werden. 55

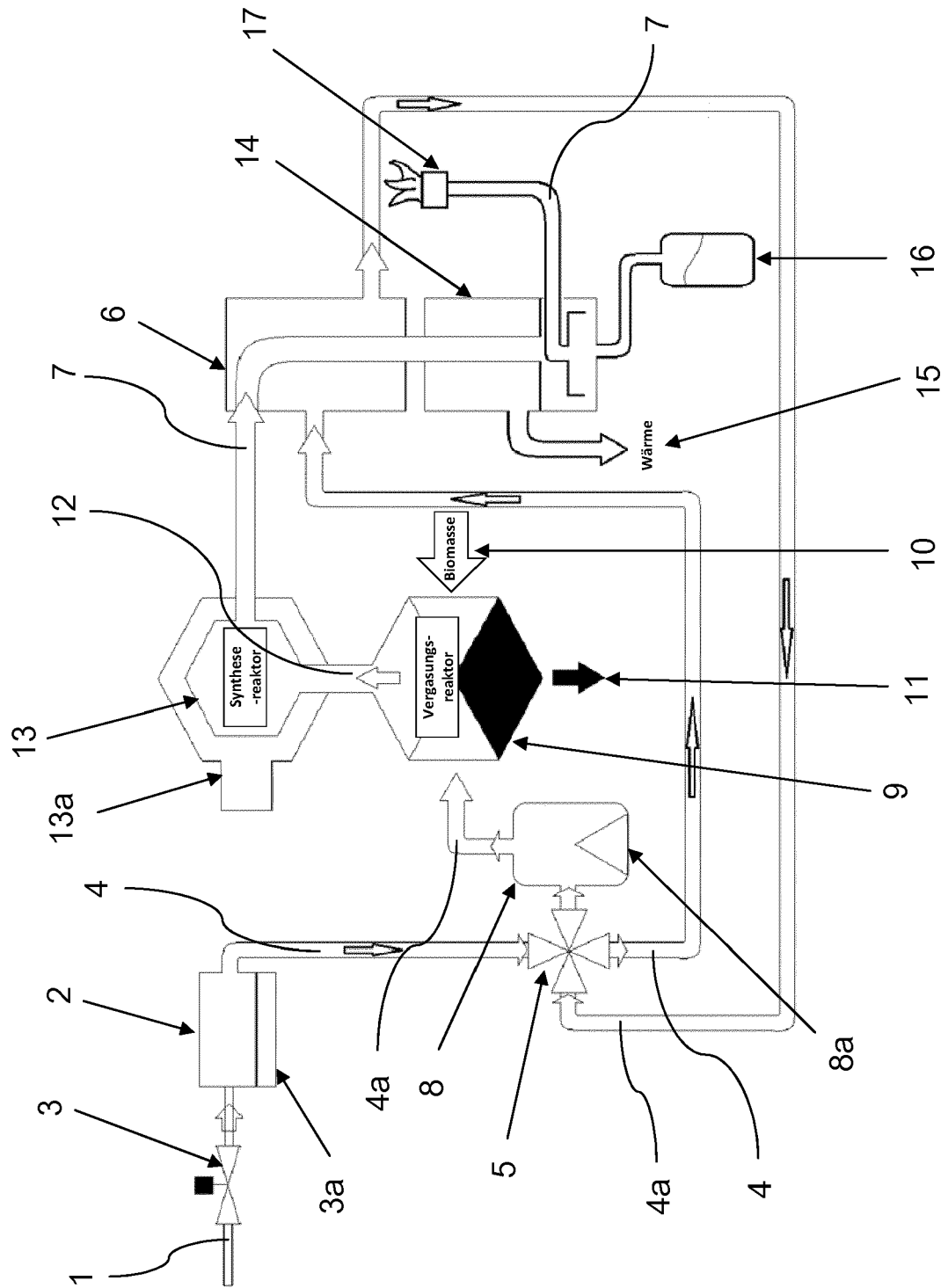


Fig. 1



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 21 4410

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

3

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2011/035990 A1 (KAMMERLOHER HELMUT [DE] ET AL) 17. Februar 2011 (2011-02-17) * Absatz [0028] * * Abbildung 7 * -----	1-5, 10-15	INV. C10J3/10 C10J3/18 C10K3/00
X	WO 01/21735 A1 (JAPAN SCIENCE & TECH CORP [JP]; NIPPON FURNACE KOGYO KK [JP] ET AL.) 29. März 2001 (2001-03-29) * Abbildung 7 * * Seite 4, Zeilen 9-15 * -----	1-4,6-9, 12	
X	US 2017/066983 A1 (JACK DOUGLAS S [US] ET AL) 9. März 2017 (2017-03-09) * Abbildung 4 * * Absatz [0053] * -----	1-4,12 5-11, 13-15	
A			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C10J C10K
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 28. Mai 2024	Prüfer Lachmann, Richard
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 21 4410

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

28-05-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
15	US 2011035990	A1	17-02-2011	AU	2009218694 A1	03-09-2009
				BR	PI0907997 A2	19-02-2019
				CA	2716387 A1	03-09-2009
				CN	101970617 A	09-02-2011
				EA	201070910 A1	29-04-2011
				EP	2265696 A2	29-12-2010
				JP	5777887 B2	09-09-2015
				JP	2011514923 A	12-05-2011
				NZ	587568 A	30-11-2012
				UA	104719 C2	11-03-2014
				US	2011035990 A1	17-02-2011
				WO	2009106357 A2	03-09-2009
25	WO 0121735	A1	29-03-2001	AT	E324423 T1	15-05-2006
				AU	777486 B2	21-10-2004
				CN	1382202 A	27-11-2002
				DE	60027591 T2	10-05-2007
				EP	1228170 A1	07-08-2002
				KR	20020051919 A	29-06-2002
				TW	I241392 B	11-10-2005
				US	6837910 B1	04-01-2005
				WO	0121735 A1	29-03-2001
30	US 2017066983	A1	09-03-2017	CA	2996189 A1	16-03-2017
				US	2017066983 A1	09-03-2017
				WO	2017044748 A1	16-03-2017
40						
45						
50						
	55					

EPO FORM P0461

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82