

Verfahren und Anlage zur Erzeugung von Synthesegas

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Anlage zur Erzeugung von Synthesegas aus Kohlenwasserstoffen und Wasser.

5

Wesentliche Teile der Weltwirtschaft basieren auf Erdöl als Rohstoff- oder Energiequelle. So werden z.B. Otto- und Dieselmotoren für den Individual- und Güterverkehr, schweres Heizöl für den Schiffsverkehr und als Brennstoff für Stromkraftwerke sowie leichtes Heizöl für die Beheizung von Einfamilien-
10 häusern aus Erdöl gewonnen. Aber auch viele Rohstoffe der chemischen Industrie stammen direkt oder indirekt aus dem Erdöl. Es werden derzeit erhebliche Anstrengungen unternommen, Erdölprodukte durch andere Rohstoffe oder alternative Verfahren zu ersetzen. Auf dem Energiesektor werden beispielsweise Erdgas und erneuerbare Energien anstelle von Erdöl zum Betrieb
15 von Stromkraftwerken eingesetzt. Im Straßenverkehr werden vor allem Elektroantrieb, Erdgasmotoren und Wasserstoffantrieb erprobt, die sich jedoch seit Jahren nicht am Markt durchzusetzen vermögen.

Es gab Versuche, Erdölprodukte in großtechnischen Verfahren aus Erdgas
20 oder Kohle herzustellen. Beispielsweise sind Verfahren zur Umwandlung von Erdgas zu Flüssigtreibstoffen bekannt (sogenannte Gas-to-Liquid-Verfahren bzw. GtL-Verfahren), diese sind aber im Allgemeinen mit signifikanten CO₂-Emissionen oder hohen Kosten verbunden. Zudem vermögen sie es meist nicht Wasserstoff unabhängig von CO oder CO₂ bereitzustellen. Diese Versu-
25 che bleiben daher aus ökonomischen und Umweltgründen auf wenige Einzelanwendungen begrenzt.

Synthesegas, oder abgekürzt Syngas, ist eine Gasmischung, aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, die außerdem Kohlendioxid aufweisen kann. Das Synthesegas wird beispielsweise durch Vergasung von Kohlenstoff enthaltendem
30 Brennstoff zu einem gasförmigen Produkt, dem Synthesegas, erzeugt, welches einen gewissen Heizwert hat. Das Synthesegas hat etwa 50% der Energiedichte von natürlichem Erdgas. Das Synthesegas kann verbrannt und somit als Brennstoffquelle verwendet werden. Das Synthesegas kann weiterhin

als Zwischenprodukt zur Erzeugung von anderen chemischen Erzeugnissen verwendet werden. Synthesegas kann beispielsweise durch Vergasung von Kohle oder Abfällen erzeugt werden. Bei der Erzeugung von Synthesegas wird beispielsweise Kohlenstoff mit Wasser oder ein Kohlenwasserstoff mit Sauerstoff zur Reaktion gebracht. Es gibt kommerziell verfügbare Technologien, um Synthesegas weiterzuverarbeiten, um schließlich Industriegase, Dünger, Chemikalien und andere chemische Produkte zu erzeugen. Bei den meisten bekannten Technologien (z.B. Water-Shift-Reaktion) zur Erzeugung und Umwandlung von Synthesegas besteht jedoch das Problem, dass bei der Synthese der benötigten Menge an Wasserstoff eine größere Menge überschüssiges CO₂ erzeugt wird, welches wiederum als klimaschädliches Gas in die Umwelt gelangt. Bei einer anderen bekannten Technik zur Herstellung von Synthesegas, der partiellen Oxidation von Methan nach der Gleichung $2 \text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO} + 4 \text{H}_2$, kann ein maximales Verhältnis von H₂:CO von 2,0 erreicht werden. Der Nachteil ist jedoch die Verwendung von reinem Sauerstoff, der energieaufwändig hergestellt werden muss.

Es ist daher eine erste Aufgabe der Erfindung, ein Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluid in Synthesegas mit einem variablen Wasserstoffgehalt umzuwandeln ohne nennenswerte Mengen von CO₂ zu erzeugen.

Die Aufgabe der Erfindung wird gelöst durch die Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 15 sowie durch die Vorrichtung nach den Ansprüchen 19 und 28. Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Insbesondere weist ein Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas das Aufspalten eines Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids zu Kohlenstoff und Wasserstoff durch einen Energieeintrag auf, der wenigstens teilweise durch Wärme geleistet wird, wobei der Kohlenstoff und der Wasserstoff nach der Aufspaltung eine Temperatur von wenigstens 200°C besitzt. Ein Teil des Kohlenstoffs, der aus der Aufspaltung gewonnen wurde, wird dann bei einer Temperatur von 800 bis 1700°C in Kontakt mit Wasser gebracht, wobei sich der durch die Aufspaltung gewonnene Kohlenstoff beim In-Kontakt-Bringen mit dem Wasser um höchstens 50% in °C hinsichtlich seiner Temperatur nach der

Aufspaltung abgekühlt hat. Hierbei wird wenigstens ein Teil des Wassers und des durch die Aufspaltung gewonnenen Kohlenstoffes in ein Synthesegas umgewandelt. Durch dieses Verfahren kann ein Kohlenwasserstoff enthaltendes Fluid in ein Synthesegas mit einem variablen Wasserstoffgehalt umgewandelt werden ohne nennenswerte Mengen von CO₂ zu erzeugen. In vorteilhafter Weise wird dabei wenigstens ein Teil einer für die Bereitstellung von Kohlenstoff (durch Aufspaltung eines Kohlenwasserstoffs) erforderlichen Energie in Form von Wärme für die Umwandlung eingesetzt. Als Nebenprodukte können zusätzlich Wasserstoff und Kohlenstoff in verschiedenen Formen gewonnen werden.

Dies gilt insbesondere, wenn die Aufspaltung bei einer Temperatur über 1000°C erfolgt und der Kohlenstoff mit einer Temperatur von wenigstens 1000°C, insbesondere bei einer Temperatur zwischen 1000°C und 1200°C mit dem Wasser in Kontakt gebracht wird, da in diesem Fall keine oder nur eine geringere zusätzliche Wärmemenge für die Umwandlung bereitgestellt werden muß. Bevorzugt wird die erforderliche Wärme zum Erreichen der Temperatur von 800 bis 1700°C (insbesondere von 1000°C bis 1200°C) für die Umwandlung im Wesentlichen vollständig durch die Wärme, die für die Aufspaltung des Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids eingesetzt wird, bereitgestellt. Im Wesentlichen bedeutet hier, dass wenigstens 80%, insbesondere wenigstens 90% der erforderlichen Wärme aus dem Aufspaltungsprozeß stammen.

Bei einer Ausführungsform werden der durch die Aufspaltung gewonnene Kohlenstoff und der durch die Aufspaltung gewonnene Wasserstoff gemeinsam mit dem Wasser in Kontakt gebracht. Wasserstoff beeinträchtigt die Umwandlung nicht und kann als zusätzlicher Wärmeträger dienen, was besonders vorteilhaft ist, wenn der Kohlenstoff und der Wasserstoff eine Temperatur von 1000°C (einer bevorzugten Umwandlungstemperatur) oder höher besitzen. In diesem Fall liegt nach der Umwandlung kein Wassergas sondern ein Synthesegas mit einem anderen Mischungsverhältnis vor.

Alternativ kann der durch die Aufspaltung gewonnene Kohlenstoff vor dem In-Kontakt-Bringen mit dem Wasser von dem durch die Aufspaltung gewonnenen Wasserstoff getrennt werden.

- 5 Zum Erhöhen der Energieeffizienz des Verfahrens kann wenigstens ein Teil der Wärme wenigstens eines Teils des durch die Aufspaltung gewonnenen Kohlenstoffs und/oder Wasserstoffes zum Erwärmen des Wassers vor dem In-Kontakt-Bringen mit dem Kohlenstoff und/oder zum Erwärmen eines Pro-
zeßraums, in dem das Wasser mit dem Kohlenstoff in Kontakt gebracht wird,
10 verwendet werden. In diesem Sinne sei auch bemerkt, dass das Synthesegas nach der Umwandlung eine Temperatur von 800 bis 1700°C aufweist und wenigstens ein Teil seiner Wärme zum Vorwärmen des Wassers vor dem In-Kontakt-Bringen mit dem Kohlenstoff verwendet werden kann. Auch ist es möglich, dass wenigstens ein Teil der Wärme wenigstens eines Teils des
15 durch die Aufspaltung gewonnenen Kohlenstoffs und/oder Wasserstoffes und/oder des Synthesegases nach der Umwandlung zur Erzeugung von elektrischem Strom verwendet wird, der insbesondere als Energieträger für den Energieeintrag für das Aufspalten des Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids bereitgestellt werden kann.

- 20 Bevorzugt erfolgt der Energieeintrag in den Kohlenwasserstoff zu seiner Aufspaltung primär über ein Plasma. Dies ist eine besonders direkte und somit effiziente Form des Energieeintrags. Bevorzugt wird die Aufspaltung in einem Kvaerner-Reaktor durchgeführt, der eine kontinuierliche Aufspaltung eines
25 Stromes an Kohlenwasserstoffen ermöglicht.

- Bei dem Verfahren zum Erzeugen eines Synthesegases kann dem Synthesegas nach der Umwandlung zusätzlicher Wasserstoff und/oder Kohlenmonoxid und/oder ein weiteres Synthesegas beigemischt werden, um eine gewünschte
30 Zusammensetzung zu erreichen. Für den Fall des gemeinsamen In-Kontakt-Bringen von Kohlenstoff und Wasserstoff mit Wasser kann es besonders zweckmäßig sein dem Synthesegas zusätzliches Kohlenmonoxid beizumischen, um das CO:H₂ Verhältnis zu reduzieren. Beim In-Kontakt-Bringen von im wesentlichen reinen Kohlenstoff mit Wasser kann es hingegen zweckmä-

ßig sein dem Synthesegas zusätzlichen Wasserstoff beizumischen, um das CO:H₂ Verhältnis zu erhöhen. Insbesondere ist es auch möglich die Ströme zweier separat in obiger Weise erzeugter Synthesegase (einer mit, einer ohne vorheriger Trennung des Kohlenstoffs und des Wasserstoffs) zu vermischen, um ein gewünschtes Mischungsverhältnis von CO:H₂ zu erhalten.

Bevorzugt stammt der zusätzliche Wasserstoff aus einer Aufspaltung eines Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids zu Kohlenstoff und Wasserstoff durch einen Energieeintrag, der wenigstens teilweise durch Wärme geleistet wird. Die Aufspaltung kann somit einerseits den erforderlichen Kohlenstoff zur C-Wasser-Umwandlung und andererseits den erforderlichen Wasserstoff in einem Arbeitsgang zur Verfügung stellen. Bei einer Ausführungsform wird wenigstens ein Teil des Wasserstoffs durch Aufspalten eines Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids bei einer Temperatur unter 1000°C, insbesondere unter 600°C mittels eines Mikrowellenplasmas erzeugt. Dort wo zusätzlicher Wasserstoff (mehr als bei der Herstellung des für die C-Wasser-Umwandlung erforderlichen Kohlenstoffs anfällt) für die Einstellung eines Mischungsverhältnisses eines Synthesegases benötigt wird, kann dieser bevorzugt energieeffizient bei niedrigeren Temperaturen aus einem Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluid abgespalten werden. Bevorzugt wird das Verhältnis CO zu Wasserstoff im Synthesegas auf einen Wert von 1:1 bis 1:3, insbesondere auf einen Wert von ungefähr 1:2,1 eingestellt.

Bei einem Verfahren zum Erzeugen von synthetischen, funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffen, wird zunächst ein Synthesegas wie oben beschrieben erzeugt und dieses mit einem geeigneten Katalysator in Kontakt gebracht, um eine Umwandlung des Synthesegases in synthetische, funktionalisierte und/oder nicht-funktionalisierte Kohlenwasserstoffe zu bewirken, wobei die Temperatur des Katalysators und oder des Synthesegases auf einen vorbestimmten Temperaturbereich gesteuert oder geregelt wird. Dabei kann das Synthesegas vorab oder auch direkt im Katalysator durch Mischen von CO mit Wasserstoff erzeugt werden.

Bei einer Ausführungsform wird die Umwandlung des Synthesegases mittels eines Fischer-Tropsch-Verfahrens, insbesondere mittels eines SMDS-Verfahrens bewirkt. Alternativ wird die Umwandlung des Synthesegases mittels eines Bergius-Pier-Verfahrens, eines Pier-Verfahrens oder einer Kombination aus einem Pier-Verfahren mit einem MtL-Verfahren bewirkt. Die Wahl
5 des Verfahrens bestimmt im Wesentlichen die Form der synthetischen, funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffe.

Bevorzugt ist das aufzusplattende, ein Kohlenwasserstoff enthaltende Fluid
10 Erdgas, Methan, Flüssiggas, Schweröl oder eine Mischung derselben.

Die Vorrichtung zum Erzeugen eines Synthesegases besitzt einen Kohlenwasserstoffkonverter zum Aufspalten eines Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids in Kohlenstoff und Wasserstoff, der wenigstens einen Prozessraum mit
15 wenigstens einem Eingang für ein Kohlenwasserstoff enthaltendes Fluid und wenigstens einem Ausgang für Kohlenstoff und/oder Wasserstoff und wenigstens eine Einheit zum Einbringen von Energie in den Prozessraum, die wenigstens teilweise aus Wärme besteht, aufweist. Ferner weist die Vorrichtung einen C-Konverter zur Umwandlung von Wasser und Kohlenstoff auf, der we-
20 nigstens einen weiteren Prozessraum mit wenigstens einem Eingang für Wasser, wenigstens einem Eingang für wenigstens Kohlenstoff und wenigstens einem Ausgang aufweist, wobei der Eingang für wenigstens Kohlenstoff direkt mit dem wenigstens einem Ausgang des Kohlenwasserstoffkonverters verbunden ist. Dabei soll direkt hier umschreiben, dass im Betrieb aus dem
25 Kohlenwasserstoffkonverter austretender Kohlenstoff auf seinem Weg zum C-Konverter um nicht mehr als 50% seiner Temperatur in °C, bevorzugt um nicht mehr als 20% abkühlt, ohne dass zusätzliche Energie zum Wärmen des Kohlenstoffs eingesetzt wird. Zwischen dem Ort der Aufspaltung und dem wenigstens einen Ausgang des Kohlenwasserstoffkonverters kann eine Trennein-
30 heit vorgesehen sein, welche den Kohlenstoff vom Wasserstoff trennt. Diese kann einen Teil des Kohlenwasserstoffkonverters bilden oder auch außerhalb des Kohlenwasserstoffkonverters als separate Einheit vorgesehen sein. Eine Trenneinheit zwischen dem Ausgang des Kohlenwasserstoffkonverters und

dem Eingang eines C-Konverters behindert eine direkte Verbindung nicht, solange die obige Bedingung beibehalten wird.

Bevorzugt ist die wenigstens eine Einheit zum Einbringen von Energie in den Prozessraum so ausgebildet, dass sie wenigstens lokal Temperaturen über 1000°C, insbesondere über 1500°C erzeugen kann. Bei einer Ausführungsform ist die wenigstens eine Einheit zum Einbringen von Energie in den Prozessraum eine Plasmaeinheit. Insbesondere wenn die Temperatur für die Aufspaltung unter 1000°C gehalten werden soll, weist die wenigstens eine Einheit zum Einbringen von Energie in den Prozessraum bevorzugt eine Mikrowellen-Plasmaeinheit auf.

Für eine besonders einfache Ausgestaltung der Vorrichtung wird der Prozessraum des C-Konverters durch ein Auslaßrohr des Kohlenwasserstoffkonverters gebildet, das mit einer Einspeisung für Wasser verbunden ist.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung sind im Bereich des Kohlenwasserstoffkonverters eine Trenneinheit zum Trennen des durch die Aufspaltung entstandenen Kohlenstoffs und des Wasserstoffs und getrennte Ausgänge für die getrennten Stoffe aus der Trenneinheit vorgesehen, wobei der Ausgang für Kohlenstoff mit dem C-Konverter verbunden ist.

Bei dem Kohlenwasserstoffkonverter handelt es sich bevorzugt um einen Kvaerner-Reaktor, der die erforderlichen Temperaturen im Dauerbetrieb für eine kontinuierliche Aufspaltung eines Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids vorsehen kann.

Für eine einfache und effiziente Erzeugung eines Synthesegases mit einem beliebigen Mischungsverhältnis kann die Vorrichtung ferner wenigstens eine separate Zuleitung für Wasserstoff und/oder Kohlenstoff und/oder ein separates Synthesegas in den C-Konverter oder einen stromabwärts befindlichen Mischraum aufweisen.

Bei einer Ausführungsform weist die Vorrichtung zum Erzeugen eines Synthesegases wenigstens einen weiteren Kohlenwasserstoffkonverter zum Aufspalten eines Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids in Kohlenstoff und Wasserstoff auf. Der wenigstens eine weitere Kohlenwasserstoffkonverter weist wie-
5 der wenigstens einen Prozessraum mit wenigstens einem Eingang für das Kohlenwasserstoff enthaltende Fluid, wenigstens eine Einheit zum Einbringen von Energie in den Prozessraum, die wenigstens teilweise aus Wärme besteht, und eine Trenneinheit zum Trennen des durch die Aufspaltung entstandenen Kohlenstoffs und des Wasserstoffs mit getrennten Ausgängen für Koh-
10 lenstoff und Wasserstoff auf, wobei der Ausgang für Wasserstoff mit der separaten Zuleitung für Wasserstoff verbunden ist. Dabei ist der wenigstens eine weitere Kohlenwasserstoffkonverter aus Gründen der Energieeffizienz bevorzugt des Typs, der eine Aufspaltung bei Temperaturen unter 1000°C, insbesondere unter 600°C mittels eines Mikrowellenplasmas bewirkt.

15

Bei der Vorrichtung zum Umwandeln eines Synthesegases in synthetische, funktionalisierte und/oder nicht-funktionalisierte Kohlenwasserstoffe, ist eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Synthesegases des obigen Typs und ein CO-Konverter vorgesehen. Der CO-Konverter weist einen Prozessraum, in
20 dem ein Katalysator angeordnet ist, Mittel zum Leiten des Synthesegases in Kontakt mit dem Katalysator, und eine Steuereinheit zum Steuern oder Regeln der Temperatur des Katalysators und/oder des Synthesegases auf eine vorbestimmte Temperatur auf. Dabei können Teile der Vorrichtung zum Erzeugen eines Synthesegases im CO-Konverter integriert sein, wie beispielsweise ein Mischraum für CO und zusätzlichen Wasserstoff, Kohlenstoff
25 und/oder ein anderes Synthesegas. Bei einer Ausführungsform weist der CO-Konverter einen Fischer-Tropsch-Konverter, insbesondere einen SMDS-Konverter auf. Alternativ kann der CO-Konverter auch ein Bergius-Pier-Konverter, einen Pier-Konverter oder eine Kombination eines Pier-Konverters
30 mit einem MtL-Konverter aufweisen. Auch ist es möglich, dass mehrere CO-Konverter desselben oder auch unterschiedlicher Typen in der Vorrichtung vorhanden sind.

Bevorzugt weist die Vorrichtung eine Steuereinheit zum Steuern oder Regeln des Drucks des Synthesegases im CO-Konverter auf.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf bestimmte Ausführungsformen anhand der Zeichnungen näher erläutert; in den Zeichnungen zeigt:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Anlage zur Erzeugung von Synthesegas;
- 10 Fig. 2 eine schematische Darstellung einer alternativen Anlage zur Erzeugung von Synthesegas;
- Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Anlage zur Erzeugung von funktionalisiertem und/oder nicht-funktionalisiertem Kohlenwasserstoff;
- 15 Fig. 4 eine schematische Darstellung einer weiteren Anlage zur Erzeugung von funktionalisiertem und/oder nicht-funktionalisiertem Kohlenwasserstoff gemäß einer weiteren Ausführungsform;
- Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Anlage zur Erzeugung von funktionalisiertem und/oder nicht-funktionalisiertem Kohlenwasserstoff gemäß einer weiteren Ausführungsform;
- 20 Fig. 6 eine schematische Darstellung einer Anlage zur Erzeugung von funktionalisiertem und/oder nicht-funktionalisiertem Kohlenwasserstoff gemäß einer weiteren Ausführungsform;
- Fig. 7 eine schematische Darstellung einer Anlage zur Erzeugung von Synthesegas gemäß einer weiteren Ausführungsform; und
- 25 Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Anlage zur Erzeugung von funktionalisiertem und/oder nicht-funktionalisiertem Kohlenwasserstoff gemäß einer weiteren Ausführungsform.

30 Es sei bemerkt, dass sich in der folgenden Beschreibung die Ausdrücke oben, unten, rechts und links sowie ähnliche Angaben auf die in den Figuren dargestellten Ausrichtungen bzw. Anordnungen beziehen und nur zur Beschreibung der Ausführungsbeispiele dienen. Diese Ausdrücke können bevorzugte Anordnungen zeigen, sind jedoch nicht im einschränkenden Sinne zu verstehen.

Ferner werden in den unterschiedlichen Figuren zum Teil dieselben Bezugszeichen verwendet, sofern gleiche oder ähnliche Teile bezeichnet werden.

- 5 In der folgenden Beschreibung werden Prozesse und Vorrichtungen beschrieben, die "heiße" Stoffe oder "heiße" Prozesse ausführen. Im Zusammenhang mit dieser Beschreibung soll der Ausdruck "heiß" eine Temperatur über 200°C und vorzugsweise über 300°C beschreiben.

- 10 Synthesegas ist jedes Gas, das im Wesentlichen aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff besteht. Als Wassergas wird ein (Synthese-)Gas bezeichnet, das zu nahezu gleichen Teilen aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff besteht (1:1). Wenn hier von Synthesegas gesprochen wird, umfaßt dieser Ausdruck also auch Wassergas als spezielle Mischung eines Synthesegases.

- 15 Fig. 1 stellt schematisch eine Anlage 1 zur Erzeugung von Synthesegas dar. Aus der Fig. 1 wird auch der grundlegende Verfahrensablauf zur Erzeugung von Synthesegas gemäß dieser Beschreibung deutlich.

- 20 Die Anlage 1 zur Erzeugung von Synthesegas weist einen Kohlenwasserstoffkonverter 3 auf, welcher einen Kohlenwasserstoffeingang 4 sowie einen ersten Kohlenstoffausgang 5, einen optionalen Wasserstoffausgang 6 sowie einen optionalen zweiten Kohlenstoffausgang 7 aufweist. Die Anlage 1 zur Erzeugung von Synthesegas weist weiter einen C-Konverter 9 mit einem Wasser-Eingang 10 einem Kohlenstoffeingang 11 (auch als C-Eingang bezeichnet) und einen Synthesegasausgang 12 (Synthesegas-Ausgang) auf. Der
25 Kohlenwasserstoffkonverter 3 und der C-Konverter 9 sind derart angeordnet, dass der Kohlenstoffausgang 5 des Kohlenwasserstoffkonverters 3 über eine direkte Verbindung 8 mit dem Kohlenstoffeingang 11 des C-Konverters 9 verbunden ist, wobei der Ausgang 5 auch direkt den Kohlenstoffeingang 11 des
30 C-Konverters 9 bilden kann. So kann Kohlenstoff aus dem Kohlenwasserstoffkonverter 3 direkt in den C-Konverter 9 transportiert werden.

Der Kohlenwasserstoffkonverter 3 ist irgendein Kohlenwasserstoffkonverter, der eingespeiste Kohlenwasserstoffe in Kohlenstoff und Wasserstoff umwan-

deln bzw. aufspalten kann. Der Kohlenwasserstoffkonverter 3 weist einen Prozessraum mit einem Einlaß für ein Kohlenwasserstoff enthaltendes Fluid, wenigstens eine Einheit zum Einbringen von Aufspaltungsenergie in das Fluid und wenigstens einen Auslaß auf. Die Aufspaltungsenergie wird wenigstens

5 teilweise durch Wärme zur Verfügung gestellt, die beispielsweise durch ein Plasma erzeugt wird. Sie kann aber auch auf andere Weise zur Verfügung gestellt werden und wenn primär eine Aufspaltung über Wärme erfolgt, so sollte das Fluid auf über 1000°C insbesondere auf eine Temperatur über 1500°C aufgeheizt werden.

10

Bei der dargestellten Ausführungsform wird ein Kvaerner Reaktor eingesetzt, der mittels eines Plasmabogens die erforderliche Wärme zur Verfügung stellt. Es sind aber auch andere Reaktoren bekannt, die bei niedrigeren Temperaturen insbesondere unter 1000°C arbeiten und neben der Wärme zusätzliche

15 Energie in den Kohlenwasserstoff einbringen, wie beispielsweise über ein Mikrowellenplasma. Wie nachfolgend noch näher erläutert wird, zieht die Erfindung beide Reaktortypen (und auch solche die ohne ein Plasma arbeiten) in betracht, insbesondere auch in Kombination miteinander. Kohlenwasserstoffkonverter die bei einer Temperatur von mehr als 1000°C arbeiten werden

20 nachfolgend als Hochtemperatur-Reaktoren bezeichnet, während solche, die bei Temperaturen unter 1000°C arbeiten, insbesondere bei einer Temperatur zwischen 200°C und 1000°C, als Niedertemperatur-Reaktoren bezeichnet werden.

25 In dem Reaktor werden mittels Wärme und/oder einem Plasma Wasserstoff und Kohlenstoff aus Kohlenwasserstoffen (C_nH_m) aufgetrennt. . Die Kohlenwasserstoffe werden dabei bevorzugt in Gasform in den Reaktor eingebracht. Bei unter Normalbedingungen flüssigen Kohlenwasserstoffen können diese vor dem Einbringen in den Reaktor in Gasform gebracht werden, oder sie

30 könnten auch in einer fein zerstäubten Form eingeleitet werden. Beide Formen werden nachfolgend als Fluide bezeichnet.

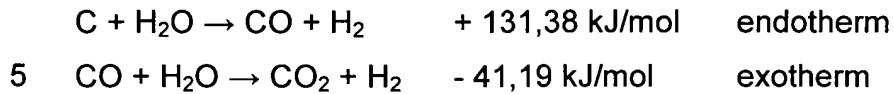
Die Auftrennung der Kohlenwasserstoffe sollte möglichst unter Ausschluß von Sauerstoff, um die unerwünschte Bildung von Kohlenstoffoxiden oder Wasser

zu unterbinden. Geringe Mengen an Sauerstoff, die beispielsweise mit dem Kohlenwasserstoffen eingebracht werden, sind aber auch wiederum für den Prozeß nicht schädlich.

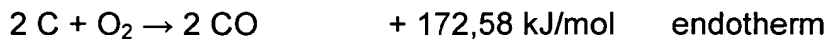
- 5 Bei dem oben beschriebenen Kvaerner Reaktor werden Kohlenwasserstoff enthaltende Fluide in einem Plasmabrenner bei hoher Temperatur in reinen Kohlenstoff (beispielsweise in Form von Aktivkohle, Carbon Black, Graphit oder Industrieruß) und Wasserstoff und ggf. Verunreinigungen getrennt. Die Kohlenwasserstoffe enthaltenden Fluide als Eingangsstoffe für den Kohlen-
- 10 wasserstoffkonverter 3 sind beispielsweise Methan, Erdgas, Biogase, Flüssig-gase oder Schweröl. Es können aber auch synthetische, funktionalisierte und/oder nicht-funktionalisierte Kohlenwasserstoffe als Eingangsstoffe für den Kohlenwasserstoffkonverter 3 verwendet werden. Nach der ursprünglichen Trennung liegen die Elemente in der Regel als eine Mischung, insbesondere
- 15 in Form eines Aerosols vor. Diese Mischung kann, wie nachfolgend beschrieben wird, in dieser Form einem weiteren Prozeß zugeführt werden, oder sie kann auch in einer entsprechenden, nicht dargestellten Trenneinheit in ihre Einzelelemente getrennt werden. Eine solche Trenneinheit wird im Rahmen dieser Anmeldung als Teil des Kohlenwasserstoffkonverters 3 angesehen,
- 20 auch wenn sie natürlich auch als getrennte Einheit ausgeführt sein kann. Wenn keine Trenneinheit vorgesehen ist, dann ist der Kohlenstoffausgang 5 der einzige Ausgang des Kohlenwasserstoffkonverters 3, der eine Mischung (ein Aerosol) aus Kohlenstoff und Wasserstoff direkt in den C-Konverter 9 lei-tet. Mit einer Trenneinheit, kann über den Kohlenstoffausgang 5 wenigstens
- 25 teilweise vom Wasserstoff getrennter Kohlenstoff in den C-Konverter 9 geleitet werden. Über die optionalen Ausgänge 6 und 7 können dann abgetrennter Wasserstoff und ggf. weiterer Kohlenstoff ausgeleitet werden.

- Der C-Konverter 9 kann irgendein geeigneter C-Konverter sein, der Synthe-
- 30 segas (Syngas) aus Kohlenstoff (C) und Wasser (H_2O) erzeugen kann. In der Ausführungsform der Fig. 1 wird im C-Konverter 9 H_2O über heißen Kohlenstoff geleitet oder auch als Wasserdampf in einem Strom aus Kohlenstoff und Wasserstoff eingeleitet und hiermit vermischt, um gemäß der chemischen

Gleichung $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ umgewandelt zu werden. Im C-Konverter 9 laufen folgende Reaktionen ab:



Im Boudouard-Gleichgewicht erfolgt die Reaktion:

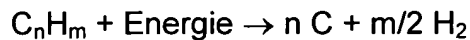


- 10 Da alle drei Reaktionen im Gleichgewicht miteinander stehen, findet der Prozeß im C-Konverter 9 vorzugsweise bei hohen Temperaturen von 800 bis 1700°C, vorzugsweise 1000 bis 1200°C statt, da bei niedriger Temperatur die zweite Reaktion bevorzugt werden würde, wobei die für das Erreichen dieser Temperatur erforderliche Wärme primär durch das Ausgangsmaterial des
- 15 Kohlenwasserstoffkonverters 3 zu Verfügung gestellt wird, wie nachfolgend noch näher erläutert wird. Das Wasser (H_2O) im C-Konverter 9 ist bei diesen Bedingungen dampfförmig und kann auch schon in Dampfform eingeleitet werden. Die Zugabe von Wasser wird im Betrieb der Anlage 1 so gesteuert, dass ein Überschuss an Wasser vermieden wird, um ein starkes Abkühlen zu
- 20 vermeiden. Bei einer übermäßigen Abkühlung im C-Konverter 9 würde ebenfalls die zweite Reaktion bevorzugt ablaufen.

- Der C-Konverter 9 arbeitet am besten bei hohen Temperaturen von 1000 bis 1200°C, um die exotherme Water-Shift-Reaktion $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ zurückzudrängen und so den Anteil an Kohlenmonoxid im Synthesegas zu optimieren. Die Reaktionen im C-Konverter 9 sind dem Fachmann bekannt und werden daher hier nicht genauer beschrieben.
- 25

- Der Betrieb der Anlage 1 zur Erzeugung von Synthesegas wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Fig. 1 näher erläutert. Dabei wird im Nachfolgenden davon ausgegangen, dass der Kohlenwasserstoffkonverter 3 ein Hochtemperatur Reaktor des Kvaerner Typs ist. Kohlenwasserstoffe enthaltende Fluide (insbesondere in Gasform) werden über den Kohlenwasserstoffeingang 4 in den Kohlenwasserstoffkonverter 3 eingeleitet. Wenn der Kohlenwasser-
- 30

stoff beispielsweise Methan (CH_4) ist, so entstehen 1 mol Kohlenstoff und 2 mol Wasserstoff aus 1 mol Methan. Die Kohlenwasserstoffe werden in dem Plasma-Brenner des Kohlenwasserstoffkonverters 3 bei etwa 1600°C gemäß der folgenden Reaktionsgleichung umgewandelt, wobei die zugeführte Energie Wärme ist, die im Plasma mittels elektrischer Energie erzeugt wird:



Bei entsprechender Prozeßführung ist der Kvaerner Reaktor in der Lage im kontinuierlichen Betrieb eine nahezu 100% Umwandlung des Kohlenwasserstoffs in seine Bestandteile zu erreichen.

Im Nachfolgenden wird davon ausgegangen, dass der Kohlenstoff und der Wasserstoff im Kohlenwasserstoffkonverter 3 getrennt und weitestgehend getrennt ausgeleitet werden. Es ist aber auch möglich, dass eine Trennung nicht erfolgt, und der Kohlenstoff und der Wasserstoff als Gemisch ausgeleitet und dem C-Konverter 9 zugeführt werden. Der Wasserstoff beeinträchtigt nicht den Umwandlungsprozeß im C-Konverter 9, kann aber als zusätzlicher Wärmeträger dienen. Der Kohlenstoff wird zumindest teilweise direkt über den Kohlenstoffausgang 5 in den Kohlenstoffeingang 11 des C-Konverter 9 eingeleitet. Dabei soll das „direkte“ leiten vom Ausgang 5 des Kohlenwasserstoffkonverters 3 zum Kohlenstoffeingang 11 des C-Konverters 9 alle solche Varianten umfassen, bei denen keine Abkühlung von mehr als 50% bezogen auf die Temperatur (vorzugsweise von nicht mehr als 80%) der geleiteten Stoffe auftritt. Da der aus dem Kohlenwasserstoffkonverter 3 austretende Kohlenstoff eine hohe Temperatur, bevorzugt über 1000°C aufweist, kann die darin enthaltene Wärmeenergie zum Erhalten der erforderlichen Temperatur für den Umwandlungsprozesses im C-Konverter 9 verwendet werden, der beispielsweise bei einer Temperatur von ca. 1000°C arbeitet.

30

Die Verbindung 8 zwischen dem Kohlenwasserstoffkonverter 3 und dem C-Konverter 9 ist so ausgestaltet, dass sich der Kohlenstoff auf dem Weg vom Kohlenwasserstoffkonverter 3 zum C-Konverter 9 nicht stark abkühlt (um weniger als 50%, bevorzugt weniger als 20% bezogen auf die Temperatur). Bei-

spielsweise kann die Verbindung 8 besonders isoliert und/oder sogar aktiv beheizt sein, wobei dem System bevorzugt - neben der Wärmezufuhr im Kohlenwasserstoffkonverter 3 - keine weitere Wärme zugeführt wird.. Der im Kohlenwasserstoffkonverter 3 erzeugte Wasserstoff enthält aufgrund der Betriebstemperatur im Kohlenwasserstoffkonverter 3 ebenfalls Wärmeenergie. Daher besteht eine Möglichkeit des Beheizens der Verbindung 8 darin, die Wärmeenergie des aus dem Wasserstoffausgang 6 herausgeleiteten Wasserstoffes, direkt oder indirekt über eine Wärmetauscheranordnung zum Beheizen der Verbindung 8 zwischen Kohlenwasserstoffkonverter 3 und C-Konverter 9 zu verwenden.

Im C-Konverter 9 wird Wasser, insbesondere in Dampfform, das über den Wasser-Eingang 10 des C-Konverters 9 eingeleitet wird, über den heißen Kohlenstoff geleitet und/oder mit diesem vermischt. Der C-Konverter 9 arbeitet am besten bei hohen Temperaturen, da es sich um eine endotherme Reaktion handelt und die Water-Shift-Reaktion, die zu ihr in Konkurrenz steht eine exotherme Reaktion ist. Die Reaktion, welche dem Fachmann bekannt ist, ist abhängig von Druck und Temperatur und wird hier nicht im Einzelnen beschrieben. Entweder die Menge des in den C-Konverter 9 eingeleiteten Wassers oder die Menge des Kohlenstoffs kann über geeignete Mittel gesteuert und/oder geregelt werden.



Allerdings ist auch hier das Boudouard-Gleichgewicht der begrenzende Faktor, weswegen bei Temperaturen oberhalb von 1000°C und in Abwesenheit eines Wasserüberschusses fast ausschließlich ein Gemisch von Kohlenmonoxid und Wasserstoff vorliegt. Es ist vorteilhaft, das in den Wasser-Eingang 10 des C-Konverters 9 eingeleitete Wasser vorzuwärmen, da der C-Konverter 9 bevorzugt bei einer Temperatur > 1000°C arbeitet. Eine Vorwärmung des Wassers kann beispielsweise erreicht werden, indem die in dem heißen Wasserstoff enthaltene Wärmeenergie direkt oder indirekt über eine Wärmetauscheranordnung zum Vorwärmen des Wassers verwendet wird. Bevorzugt reicht aber auch die im Kohlenstoff enthaltene Wärme, um das Wasser auf die

gewünschte Temperatur zu bringen. Nur für den Fall, dass die im Kohlenwasserstoffkonverter 3 erzeugte Wärme nicht ausreicht, um die gewünschte Umwandlungstemperatur von ungefähr 1000°C zu erreichen, kann eine optionale zusätzliche Heizeinheit zum Erwärmen des C-Konverters 9 oder der darin befindlichen Elemente vorgesehen sein. Eine solche kann auch als eine Vorheizeinheit im Bereich einer Zuleitung für das Wasser oder den Kohlenstoff eingesetzt werden. Sie kann auch nur für den Start der Anlage eingesetzt werden, um zunächst den C-Konverter 9 oder medienführende Teile der Anlage auf eine Anfangstemperatur zu bringen, damit das System schneller einen gewünschten Temperaturzustand erreicht. Die Aufheizung aller medienführenden Teile rein über die im Kohlenwasserstoffkonverter 3 erzeugte Wärme könnte anfangs zu lange dauern

Aus dem C-Konverter 9 tritt heißes Synthesegas ($\text{CO} + \text{H}_2$) bei einer Temperatur von $>1000^\circ\text{C}$ aus (abhängig von der Betriebstemperatur des C-Konverters 9). Das aus dem C-Konverter 9 austretende Synthesegas enthält also ebenfalls Wärmeenergie, die direkt oder indirekt über einen in Fig. 1 nicht gezeigten Wärmetauscher beispielsweise zum Vorwärmen des in den Wassereingang 10 eingeleiteten Wassers verwendet werden kann. Bei entsprechender Gestaltung der Betriebsparameter im C-Konverter 9, d.h. einer Temperatur zwischen 1000 und 1200°C , (und der Trennung von Wasserstoff und Kohlenstoff im Kohlenwasserstoffkonverter 3) wird ein Synthesegas erzeugt, bei dem CO und H_2 in einem Verhältnis von 1:1 vorliegen, welches als Wassergas bezeichnet wird. Ohne eine Trennung von Wasserstoff und Kohlenstoff im Kohlenwasserstoffkonverter 3 und entsprechender Gestaltung der Betriebsparameter im C-Konverter 9, d.h. einer Temperatur zwischen 1000 und 1200°C , wird ein Synthesegas erzeugt, bei dem CO und H_2 in einem Verhältnis von ungefähr 1:3 vorliegen

Wie oben erwähnt, kann der Kohlenwasserstoffkonverter 3 einen zweiten Kohlenstoffausgang 7 zum Ausleiten von Kohlenstoff aufweisen. Der im Kohlenwasserstoffkonverter 3 erzeugte Kohlenstoff kann – nach einer entsprechenden Trennung (oder auch als C-H_2 Mischung) in unterschiedlichen Anteilen aus dem ersten Kohlenstoffausgang 5 und dem zweiten Kohlenstoffaus-

gang 7 herausgeleitet werden. Der zweite Kohlenstoffausgang 7 wird verwendet, um gegebenenfalls einen Anteil des erzeugten Kohlenstoffes zu entnehmen, der nicht im C-Konverter 9 zur Erzeugung von Synthesegas verwendet wird. Die Größe eines solchen nicht verwendeten Anteils des Kohlenstoffes
5 hängt von der gewünschten Zusammensetzung des Synthesegases ab, welches aus dem C-Konverter 9 ausgeleitet werden soll. Der aus dem zweiten Kohlenstoffausgang 7 entnommene Kohlenstoff kann als Aktivkohle, Graphit, Carbon Black oder andere Modifikation, wie Carbon Cones oder Carbon Discs, entnommen werden. Je nach Form und Qualität des entnommenen
10 Kohlenstoffes kann der entnommene Kohlenstoff als Rohstoff in der chemischen Industrie oder für die Elektronikindustrie verwendet werden. Mögliche Anwendungen sind beispielsweise die Halbleiterherstellung, Reifenherstellung, Tinten, Toner oder ähnliche Produkte. Der vom Kohlenwasserstoffkonverter 3 erzeugte Kohlenstoff ist ein hochreiner Rohstoff, der gut weiterverarbeitet werden kann.
15

Mit Hilfe des oben dargestellten Verfahrens zur Synthesegas-Erzeugung ist es möglich, den heißen Kohlenstoff aus dem Kohlenwasserstoffkonverter 3 mit warmem bis heißem Wasser im C-Konverter 9 ohne oder wenigstens ohne
20 nennenswerte externe Energiezufuhr zu Synthesegas umzusetzen. Bevorzugt sollten wenigstens 80%, insbesondere wenigstens 90% der zum Erreichen der Umwandlungstemperatur erforderlichen Wärme aus dem Kohlenwasserstoffkonverter 3 stammen.

25 In Fig. 2 ist eine Anlage 20 zur Erzeugung von Synthesegas gezeigt, welche die oben beschriebenen Elemente der Anlage 1 zur Erzeugung von Synthesegas sowie einen Mischer 21 aufweist, der einen Synthesegaseingang 22 zum Einleiten von Synthesegas und einen H₂-Eingang 23 zum Einleiten von Wasserstoff sowie einen Synthesegasausgang 24 zum Ausleiten von Synthesegas aufweist. Der Synthesegaseingang 22 ist mit dem Synthesegasausgang 12 des C-Konverters 9 verbunden. Der H₂-Eingang 23 des Mischers 21
30 ist mit dem H₂-Ausgang 6 des Kohlenwasserstoffkonverters 3 verbunden. Wie der Fachmann erkennen kann, wird bei der Ausführung, bei der eine C-H₂ Mischung über den Kohlenstoffausgang 5 in den C-Konverter 9 geleitet wird, au-

tomatisch ein Synthesegas mit einem Mischungsverhältnis von CO-H₂ von ungefähr 1:3 erzeugt. In diesem Fall kann ggf. ein Mischer 21 entfallen oder zur Einstellung eines anderen Mischungsverhältnisses eingesetzt werden oder im Mischer CO eingeleitet werden, um den H₂-Anteil des Synthesegases zu vermindern.

Der Mischer 21 kann irgendeine geeignete Vorrichtung zum Vermischen von Gasen sein und zum Beispiel in einem einfachen Fall die Form einer Rohrleitung mit entsprechenden Einlässen und einem Auslaß einnehmen. Mit Hilfe des Mixers 21 und insbesondere über eine Steuerung/Regelung des (zusätzlich) über den H₂-Eingang 23 des Mixers 21 eingeleiteten Wasserstoff und/oder über einen nicht dargestellten Eingang, der mit einer nicht dargestellten CO-Quelle und/oder einer zweiten Synthesegasquelle in Verbindung steht, kann die Mischung des Synthesegases am Synthesegasausgang 24 so beeinflusst werden, dass eine für nachfolgende Prozesse erforderliche Zusammensetzung erreicht wird. Insbesondere kann die zweite Synthesegasquelle ein zweiter C-Konverter 9 sein, der parallel zu einem ersten betrieben wird. Beide C-Konverter 9 könnten von einem gemeinsamen Kohlenwasserstoffkonverter 3 oder auch von separaten Einheiten mit Kohlenstoff und/oder Wasserstoff versorgt werden. Insbesondere kann ein erster mit im Wesentlichen reinem Kohlenstoff (mit vorheriger Trennung des Wasserstoffs) und der zweite mit einem Gemisch aus Kohlenstoff und/oder Wasserstoff versorgt werden. Hierbei würde der erste somit im Wesentlichen Wassergas mit einem Mischungsverhältnis von CO-H₂ von ungefähr 1:1 erzeugen und der zweite ein Synthesegas mit einem Mischungsverhältnis von CO-H₂ von ungefähr 1:3. Ein Zusammenführen beider Synthesegase würde ein Mischungsverhältnis von CO-H₂ von ungefähr 1:2 ergeben, wobei noch überschüssiger Wasserstoff (aus der Trennung vor der Einleitung in den ersten C-Konverter) für eine weitere Erhöhung des Mischungsverhältnisses von CO-H₂ vorhanden wäre.

Für viele Prozesse, beispielsweise die Fischer-Tropsch-Synthese, soll das Verhältnis von Wasserstoff zu CO möglichst hoch sein. Mit Hilfe des Mixers 21 kann ein beliebiges Verhältnis von Wasserstoff zu CO am Synthesegasausgang 24 eingestellt werden, beispielsweise ein Verhältnis von 1:1, was

Wassergas entspricht. Es wird in Betracht gezogen, dass nur ein Teil des Synthesegases und/oder nur ein Teil des Wasserstoffes in den Mischer 21 eingeleitet wird, während die nicht in den Mischer eingeleiteten Teile von Synthesegas und Wasserstoff jeweils als reines Gas aus dem Prozeß entnommen werden können. Daher ist es beispielsweise möglich, a) nur Synthesegas zu entnehmen, b) nur Wasserstoff zu entnehmen, c) eine Synthesegasmischung aus CO und Wasserstoff zu entnehmen oder d) einen Strom von Wassergas, einen Strom von Wasserstoff und einen Strom einer Synthesegasmischung (beliebiges Verhältnis von CO zu Wasserstoff) bzw. mehrere Synthesegase mit unterschiedlichem Verhältnis von Kohlenmonoxid zu Wasserstoff zu entnehmen.

Weiterhin weist die Anlage 20 zur Erzeugung von Synthesegas der Fig. 2 einen C-Wärmetauscher 25, einen Synthesegas-Wärmetauscher 26 und einen H₂-Wärmetauscher 27 auf. Der C-Wärmetauscher 25 steht mit der Verbindung 8 zwischen Kohlenwasserstoffkonverter 3 und C-Konverter 9 in thermisch leitendem Kontakt und ist geeignet, der Verbindung ggf. überschüssige Wärme zu entziehen, die nicht für das Erreichen der Umwandlungstemperatur im C-Konverter 9 erforderlich ist, oder Wärme aus anderen Bereichen der Anlage zuzuführen, sofern dies erforderlich ist.

Der Synthesegas-Wärmetauscher 26 steht mit der Verbindung zwischen dem C-Konverter 9 und dem Mischer 21 in thermisch leitendem Kontakt und ist geeignet, der Verbindung und somit dem darin befindlichen heißen Synthesegas überschüssige Wärme zu entziehen. Diese kann zum Beispiel zum Vorheizen des in den C-Konverter 9 eingeleiteten Wassers verwendet werden. Hierfür würde sich insbesondere ein sogenannter Gegenstrom-Wärmetauscher anbieten, wie er in der Technik bekannt ist.

Der H₂-Wärmetauscher 27 steht an der Verbindung zwischen dem Kohlenwasserstoffkonverter 3 und dem Mischer 21 in thermisch leitendem Kontakt und ist geeignet, der Verbindung und somit dem darin befindlichen heißen Wasserstoff überschüssige Wärme zu entziehen. Die mit einem der Wärmetauscher 25, 26 oder 27 abgeführte Wärme kann zum Beheizen anderer Be-

reiche der Anlage und insbesondere zum Warmhalten des C-Konverters oder zum Vorwärmen des in den C-Konverter eingeleiteten Wassers verwendet werden. Ein Teil der Wärme kann auch beispielsweise über einen Dampferzeuger und eine Dampfturbine oder eine andere geeignete Vorrichtung in
5 Strom umgewandelt werden.

Der Betrieb der Anlage 20 zur Erzeugung von Synthesegas gleicht, was den Betrieb des Kohlenwasserstoffkonverters 3 und des C-Konverters 9 betrifft, dem oben beschriebenen Betrieb der Anlage 1 gemäß Fig. 1. Bei der Anlage
10 20 zur Erzeugung von Synthesegas wird abhängig von der erwünschten Zusammensetzung des Synthesegases im Mischer 21 ein erwünschtes Mischungsverhältnis von Wasserstoff zu CO eingestellt und am Synthesegasausgang 24 des Mixers 21 ausgeleitet, wobei der Wasserstoff bevorzugt, wie dargestellt, aber nicht zwingend über den Kohlenwasserstoffkonverter 3
15 zu Verfügung gestellt wird. Es sind hier auch andere Wasserstoffquellen, insbesondere auch ein zweiter Kohlenwasserstoffkonverter 3 denkbar, insbesondere ein Niedertemperatur-Konverter.. Falls nicht die gesamte zur Verfügung stehende Menge an Synthesegas und/oder die gesamte zur Verfügung stehende Menge an H_2 verwendet werden, können die nicht im Mischer zusammengeführten Anteile der jeweiligen Gase, z.B. Wassergas und/oder H_2 je-
20 weils einzeln weiterverarbeitet werden.

Fig. 3 zeigt eine Anlage 30 zur Erzeugung von synthetischen funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffen, welche eine Anlage 10
25 zur Erzeugung von Wassergas (wie in Fig. 1 gezeigt) und einen CO-Konverter 31 aufweist. Der Anlagenteil, der der Anlage 1 entspricht wird nicht näher erläutert, um Wiederholungen zu vermeiden. Der CO-Konverter 31 ist stromabwärts zum C-Konverter 9 angeordnet und weist einen Synthesegaseingang 32 zum Einleiten von Synthesegas, einen H_2 -Eingang 33 zum Einleiten von
30 Wasserstoff und einen Kohlenwasserstoffausgang 34 zum Ausleiten von synthetischen funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffen auf. Der Synthesegaseingang 32 des CO-Konverters 31 ist mit dem Synthesegasausgang 12 des C-Konverters 9 durch eine Synthesegas-Verbindung 35 verbunden. Der H_2 -Eingang 33 des CO-Konverters 31 ist

durch eine H₂-Verbindung 36 mit dem H₂-Ausgang 6 des Kohlenwasserstoffkonverters 3 verbunden.

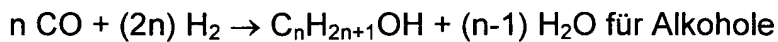
Es sei bemerkt, dass der H₂-Eingang 33 des CO-Konverters 31 und die H₂-Verbindung 36 optionale Elemente sind. Abhängig von der Zusammensetzung des Synthesegases, welches aus dem C-Konverter 9 austritt, und abhängig von den synthetischen funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffen, die im CO-Konverter 31 erzeugt werden sollen, hat das Synthesegas schon beim Austritt aus dem Synthesegasausgang 12 des C-Konverters 9 die richtige Zusammensetzung zur Weiterverarbeitung durch den CO-Konverter 31. In diesem Fall ist das Zuleiten von Wasserstoff über die H₂-Verbindung 36 nicht nötig. Optional kann die H₂-Verbindung 36 aber auch für die Zuleitung eines anderen Stoffes, wie z.B. CO zur Verminderung des H₂-Anteils des Synthesegases oder eines Alkens zur Synthese eines Aldehyds (Hydroformylierung), ausgelegt sein.

Die Anlage 30 zur Erzeugung von Kohlenwasserstoffen weist optional auch die in Verbindung mit der Anlage 20 (Fig. 2) beschriebenen Wärmetauscher 25, 26, 27 auf, nämlich den C-Wärmetauscher 25, den Synthesegas-Wärmetauscher 26 und den H₂-Wärmetauscher 27, die in der oben beschriebenen Weise arbeiten (siehe Beschreibung der Fig. 2).

Der CO-Konverter 31 kann ein beliebiger CO-Konverter zur Herstellung von synthetischen, funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffen sein. In der gezeigten Ausführungsform der Fig. 3 ist der CO-Konverter bevorzugt entweder ein Fischer-Tropsch-Konverter, ein Bergius-Pier-Konverter oder ein Pier-Konverter mit einem entsprechenden Katalysator und einer Temperatur und/oder Druck-Steuereinheit.

In einer Ausführungsform weist der CO-Konverter 31 einen Fischer-Tropsch-Konverter auf. Ein Fischer-Tropsch-Konverter wandelt katalytisch ein Synthesegas zu Kohlenwasserstoffen und Wasser um. Dem Fachmann sind verschiedene Ausführungen von Fischer-Tropsch-Reaktoren und Fischer-

Tropsch-Verfahren bekannt, die hier nicht im Detail dargestellt werden sollen. Die Hauptreaktionsgleichungen lauten wie folgt:



Die Fischer-Tropsch-Verfahren können als Hochtemperatur-Verfahren oder als Niedrigtemperatur-Verfahren durchgeführt werden, wobei die Prozeßtemperaturen im Allgemeinen zwischen 200 und 400°C liegen. Bekannte Varianten des Fischer-Tropsch-Verfahrens sind u.a. die Hochlast-Synthese, die Synthol-Synthese und das SMDS-Verfahren der Firma Shell (SMDS = Shell Middle Distillate Synthesis). Durch einen Fischer-Tropsch-Konverter wird typischerweise eine Kohlenwasserstoffverbindung aus Flüssiggasen (Propan, Butan), Benzin, Kerosin (Dieselöl), Weichparaffin, Hartparaffin, Methan-Dieselmischkraftstoff oder eine Mischung mehrerer derselben erzeugt. Die Fischer-Tropsch-Synthese ist exotherm, wie dem Fachmann bekannt ist. Die Reaktionswärme aus dem Fischer-Tropsch-Verfahren kann mittels eines (in den Figuren nicht gezeigten) Wärmetauschers, beispielsweise zum Vorwärmen von Wasser verwendet werden. Es wird beispielsweise eine zweistufige Vorwärmung des in den C-Konverter 9 eingeleiteten Wassers in Betracht gezogen, wobei zuerst eine Vorwärmung mittels der Abwärme des CO-Konverters 31 (in der Ausführung als Fischer-Tropsch-Konverter) erfolgt und danach eine weitere Erwärmung des Wassers mittels Wärme von einem oder mehreren der Wärmetauscher 25, 26, 27.

In einer alternativen Ausführungsform weist der CO-Konverter 31 einen Bergius-Pier-Konverter oder eine Kombination eines Pier-Konverters mit einem MtL-Konverter (MtL = Methanol-to-Liquid) auf.

30

In einem Bergius-Pier-Konverter läuft das dem Fachmann wohl bekannte Bergius-Pier-Verfahren ab, bei dem Kohlenwasserstoffe durch Hydrierung von Kohlenstoff mit Wasserstoff in einer exothermen chemischen Reaktion er-

zeugt werden. Das Spektrum der Ausgangsprodukte aus dem Bergius-Pier-Verfahren hängt von den Reaktionsbedingungen und der Reaktionsführung ab. Es werden hauptsächlich flüssige Endprodukte erhalten, die als Kraftstoffe verwendet werden können, beispielsweise Schwer- und Mittelöle. Bekannte
5 Entwicklungen des Bergius-Pier-Verfahrens sind beispielsweise das Konsol-Verfahren und das H-Coal-Verfahren.

In der oben erwähnten Kombination eines Pier-Konverters mit einem MtL-Konverter wird zunächst Synthesegas nach dem bekannten Pier-Verfahren in
10 Methanol umgewandelt. Der MtL-Konverter ist ein Konverter, in dem Methanol zu Benzin umgewandelt wird. Ein verbreitetes Verfahren ist das MtL-Verfahren der Fa. ExxonMobil bzw. Esso. Eingangsprodukt des MtL-Konverters ist typischerweise Methanol, beispielsweise aus dem Pier-Konverter. Das Ausgangsprodukt, das vom MtL-Konverter erzeugt wird, ist typischerweise
15 Benzin, das zum Betreiben eines Ottomotors geeignet ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in dem CO-Konverter 31, egal nach welchem der oben dargestellten Prinzipien dieser arbeitet, als Endprodukte funktionalisierte und/oder nicht-funktionalisierte Kohlenwasserstoffe
20 synthetisch aus CO und H₂ hergestellt werden können. Die Prozeßwärme, die bei der exothermen Umsetzung im CO-Konverter 31 auftritt, kann wiederum über einen Wärmetauscher entweder zum Beheizen unterschiedlicher Bereiche der Anlage oder zum Erzeugen von Strom verwendet werden, um den Wirkungsgrad der hier beschriebenen Anlagen zu verbessern.

25 Sofern als Ausgangsprodukt des CO-Konverters 31 eine Mischung von Kohlenwasserstoffen vorliegt, die nach ihrer Auftrennung und Verfeinerung nicht direkt weiterverarbeitet oder als Fertigprodukt profitabel verkauft werden kann, können diese Kohlenwasserstoffe, beispielsweise Methan oder kurzkettige
30 Alkane in den hier beschriebenen Prozeß zurückgeführt werden. Zu diesem Zweck weist die Anlage 30 eine Rückleitungsverbindung 39 auf, mit deren Hilfe ein Teil der synthetisch erzeugten Kohlenwasserstoffe zurück zum Kohlenwasserstoffeingang 4 des Kohlenwasserstoffkonverters 3 geleitet werden können. Je nach Zusammenstellung der zurückgeleiteten, synthetisch erzeug-

ten Kohlenwasserstoffe erfolgt vor der Einleitung in den Kohlenwasserstoffeingang 4 noch eine Aufbereitung bzw. Abtrennung von nicht geeigneten Kohlenwasserstoffen.

- 5 Fig. 4 zeigt eine weitere Ausführungsform einer Anlage 40 zur Erzeugung von synthetischen funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffen. Die Anlage 40 weist die oben beschriebene Anlage 20 zur Erzeugung eines Synthesegases sowie einen CO-Konverter 31 auf, wie er oben mit Bezug auf das Ausführungsbeispiel der Fig. 3 beschrieben wurde. Der Synthesegasausgang 24 des Mischers 21 ist mit dem Synthesegaseingang 32 des CO-Konverters 31 verbunden. Der Mischer 21 ist dabei so eingestellt, dass er an seinem Synthesegasausgang 24 ein Synthesegas liefert, welches für die Bedürfnisse des verwendeten CO-Konverters 31 angepaßt ist. Die restlichen Elemente der Anlage 40 sind dieselben, wie oben beschrieben und auch der Betrieb der einzelnen Elemente erfolgt im Wesentlichen in der oben beschriebenen Art und Weise.

Es wird in Betracht gezogen, dass, je nach Größe der Anlage, eine Vielzahl von Kohlenwasserstoffkonvertern nebeneinander betrieben werden kann, um die erwünschte Umwandlungskapazität bereitzustellen. Wie oben erwähnt, können die Kohlenwasserstoffkonverter als Hochtemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter und/oder als Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter ausgeführt sein. Ein Hochtemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter arbeitet bei Temperaturen von größer 1000°C und ein Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter arbeitet bei Temperaturen zwischen 200 und 1000°C, wobei als zusätzliche Energiequelle zum Beispiel eine Mikrowelleneinheit vorgesehen ist, die Energie direkt in den Kohlenwasserstoff einkoppelt, um eine Aufspaltung in Kohlenstoff und Wasserstoff zu erreichen.

- 30 Als Beispiel einer Anlage mit einer Vielzahl von nebeneinander betriebenen Kohlenwasserstoffkonvertern zeigt Fig. 5 eine weitere Ausführung der Anlage 30 zur Erzeugung von synthetischen funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffen. In Fig. 5 werden dieselben Bezugszeichen, wie bei vorherigen Ausführungsformen verwendet, sofern gleiche oder ähnli-

che Elemente beschrieben werden. Bei der in Fig. 5 gezeigten Ausführung ist statt eines einzelnen der Kohlenwasserstoffkonverters 3 eine Kombination eines Hochtemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter 3a und eines Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonverters 3b vorgesehen.

5

Der Hochtemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter 3a weist einen Kohlenwasserstoffeingang 4a, einen ersten Ausgang 5a zum Ausleiten von Kohlenstoff und einen zweiten Ausgang 6a zum Ausleiten von Wasserstoff auf. Wiederum kann aber auch ein einzelner Ausgang 5a für eine Mischung (insbesondere ein Aerosol) aus Kohlenstoff und Wasserstoff vorgesehen sein. Der erste
10 Ausgang 5a ist über die eine Verbindung 8 mit dem C-Eingang 11 des C-Konverters 9 verbunden. Der optionale zweite Ausgang 6a des Hochtemperatur-Kohlenwasserstoffkonverters 3a ist mit dem H₂-Eingang 33 des CO-Konverters 31 verbunden. Der Hochtemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter 3a
15 kann optional einen in der Fig. 5 nicht gezeigten weiteren Ausgang für Kohlenstoff aufweisen.

Der Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter 3b weist einen Prozessraum mit einem Kohlenwasserstoffeingang 4b, einen ersten Ausgang 5b zum
20 Ausleiten von Kohlenstoff, einen zweiten Ausgang 6b zum Ausleiten von Wasserstoff, und einen optionalen, dritten Ausgang 7b zum Ausleiten von Kohlenstoff auf. Bevorzugt weist der Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter 3b eine Trenneinheit auf, um Wasserstoff und Kohlenstoff nach Aufspaltung zu trennen und den jeweiligen Ausgängen zuzuleiten. Der erste Aus-
25 gang 5b ist optional über die Verbindung 8 mit dem C-Eingang 11 des C-Konverters 9 verbunden, kann aber auch mit einer Kohlenstoff-Sammeleinheit verbunden sein. Der zweite Ausgang 6b des Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonverters 3b ist mit dem H₂-Eingang 33 des CO-Konverters 31 verbunden. Der optionale dritte Ausgang 7b ist mit einer Koh-
30 lenstoff-Sammeleinheit verbunden, aus der gesammelter Kohlenstoff zum Beispiel als Carbon Black, Aktivkohle oder einer anderen Form entnommen werden kann.

Wie bereits oben bemerkt, sind der H₂-Eingang 33 des CO-Konverters 31 und die H₂-Verbindungen 36a, 36b optionale Elemente, falls das Zuleiten von Wasserstoff über die H₂-Verbindungen 36a, 36b nicht nötig ist.

- 5 Der Kohlenwasserstoff, der in den Kohlenwasserstoffeingang 4a und in den Kohlenwasserstoffeingang 4b eingeleitet wird, kann der gleiche Kohlenwasserstoff sein oder es können unterschiedliche Kohlenwasserstoffe sein. In den Kohlenwasserstoffeingang 4a kann Kohlenwasserstoff aus einer ersten Kohlenwasserstoffquelle eingeleitet werden, beispielsweise Erdgas aus einem
- 10 Erdgasvorrat. In den Kohlenwasserstoffeingang 4b des Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonverters 3b kann hingegen zum Beispiel funktionalisierter und/oder nicht-funktionalisierter, synthetisch hergestellter Kohlenwasserstoff eingeleitet werden, beispielsweise über die zuvor erwähnte optionale Rückleitungsverbindung 39. Durch die Verwendung von mehreren, parallel betriebenen Kohlenwasserstoffkonvertern 3, 3a, 3b ist die Anlage 30 leichter skalier-
- 15 bar, leichter steuerbar und es können unterschiedliche Arten von Kohlenstoff hergestellt werden.

- Darüber hinaus kann zum Beispiel mit Vorteil der Hochtemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter 3a verwendet werden, um „heißen“ Kohlenstoff vor-
- 20 zugsweise mit einer Temperatur über 1000°C für die Umwandlung im C-Konverter 9 zu erzeugen. Hierbei kann der Hochtemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter 3a insbesondere ohne eine Trenneinheit auskommen, da die durch die Aufspaltung gewonnene C-H₂ Mischung direkt in den C-Konverter 9
- 25 eingeleitet werden kann. In diesem Fall gibt der C-Konverter 9 dann am Ausgang zum Beispiel ein Synthesegas mit einem C-H₂ Mischungsverhältnis von ungefähr 1:3 aus.

- Der Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter 3b wird hingegen primär
- 30 zur Erzeugung von zusätzlichem Wasserstoff für die Erzeugung eines Synthesegases oder einer C-H₂ Mischung mit einem C-H₂ Mischungsverhältnis von größer 1:3 für den CO-Konverter 31 bereitstellen zu können. Da hier kein Wärmetransfer vom Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter 3b zu einem nachfolgenden Prozeß erforderlich ist, kann er Vorteilhaft mit Temperatu-

ren unter 1000°C und bevorzugt bei der niedrigsten möglichen Temperatur betrieben werden.

- 5 Im Betrieb der Anlage 30 kann somit ein Teil des in den Kohlenwasserstoffkonvertern 3a, 3b erzeugten Kohlenstoffes (bevorzugt der aus dem Hochtemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter 3a) in den C-Konverter 9 eingeleitet werden, während ein anderer Teil (bevorzugt der aus dem Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter 3b) als Grundstoff für die Erzeugung von weiteren
- 10 Produkten aus dem Verfahren ausgeleitet werden kann. Solche Produkte sind beispielsweise Carbon Black bzw. Industrieruß, Aktivkohle, spezielle Modifikationen des Kohlenstoffs wie Carbon Discs und Carbon Cones usw., was als schwarzer, pulverförmiger Feststoff vorliegt. Dieser Kohlenstoff ist ein wichtiges technisches Produkt, welches beispielsweise als Füllstoff in der Gummi-
- 15 industrie, als Pigmentruß für Druckfarben, Tuschen und Lacke oder als Ausgangsstoff zur Herstellung von elektrischen Bauteilen verwendet wird, beispielsweise für Zink-Kohle-Batterien und zur Herstellung von Kathoden oder Anoden. Gegebenenfalls überschüssiger Wasserstoff kann für die chemische
- 20 Industrie ausgeleitet oder auch zur Erzeugung von Strom (durch verbrennen oder mittels Brennstoffzelle) verwendet werden, wobei der Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonverter 3b bevorzugt so betrieben wird, dass er nur den erforderlichen zusätzlichen Wasserstoff bereitstellt.

- Fig. 6 zeigt eine alternative Ausführung der oben beschriebenen Anlage 40
- 25 zur Erzeugung von synthetischen, funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffen, bei der ebenfalls eine Vielzahl von parallel betriebenen Hochtemperatur- und/oder Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonvertern vorgesehen ist. Die in Fig. 6 gezeigte Anlage 40 zur Erzeugung von Kohlenwasserstoffen unterscheidet sich von der in Fig. 5
- 30 gezeigten Anlage 30 dadurch, dass vor dem CO-Konverter 31 ein Mischer 21 vorgeschaltet ist, der ein speziell für den CO-Konverter 31 zugeschnittenes Synthesegas zusammenmischt und an den CO-Konverter 31 liefert. Die in Fig. 6 dargestellten Elemente wurden oben bereits zuvor beschrieben und arbeiten auch nach den oben beschriebenen Prinzipien. Daher wird hier auf ei-

ne erneute detaillierte Beschreibung verzichtet, um Wiederholungen zu vermeiden.

Die Fig. 7 und 8 zeigen Ausführungsformen der Anlagen 20 und 30, die einen
5 C-Wärmetauscher 25, einen Synthesegas-Wärmetauscher 26 und H₂-
Wärmetauscher 27 aufweisen, welche jeweils mit einer Motor/Generator-
Anordnung 45 verbunden sind. Die Motor/Generator-Anordnung 45 ist geeig-
net, aus überschüssiger Wärme von unterschiedlichen Stellen der Anlage zu-
mindest teilweise elektrischen Strom zu erzeugen, welcher entweder in ein
10 allgemeines Stromnetz eingespeist werden kann oder zum Betrieb der Anlage
20, 30 insbesondere des/der Kohlenwasserstoffkonverter verwendet werden
kann. Weiter kann die Motor/Generator-Anordnung 45 mit einem in Fig. 8
nicht gezeigten Wärmetauscher am CO-Konverter 31 verbunden sein, der die
Wärme ableitet, die bei dem exothermen Umwandlungsprozeß entsteht, der
15 im CO-Konverter 31 abläuft. So kann einerseits der CO-Konverter 31 in ge-
steuerter oder geregelter Weise gekühlt werden, was für die Prozeßführung
vorteilhaft ist, und andererseits elektrischer Strom erzeugt werden. Die Mo-
tor/Generator-Anordnung 45 kann irgendeine Vorrichtung sein, welche zur
Verstromung von Wärmeenergie geeignet ist, beispielsweise eine Kombinati-
20 on aus einer Dampfturbine und einem Generator oder einem Kolbenmotor und
einem Generator.

Die Motor/Generator-Anordnung 45 verstromt im Betrieb den Anteil der über-
schüssigen Wärme in der Anlage, d.h. die Wärme die nicht zum Erreichen der
25 Kohlenstoff-Wasser Umwandlung verwendet wird.

Die Motor/Generator-Anordnung 45 und die Wärmetauscher 25, 26 und 27
sind optionale Elemente, die bei allen oben genannten Anlagen eingesetzt
werden können. Auch der aus dem jeweiligen zweiten Kohlenstoffausgang 7,
30 7a, 7b ausgeleitete Kohlenstoff enthält aufgrund der Betriebstemperatur im
jeweiligen Kohlenwasserstoffkonverter 3, 3a, 3b eine beträchtliche Wärme-
energie. Abhängig von der erwünschten Temperatur des ausgeleiteten Koh-
lenstoffs kann ein Großteil dieser Wärmeenergie mittels in den Fig. nicht ge-
zeigten Wärmetauschern abgeleitet werden und in den hier beschriebenen

Verfahren weiterverwendet werden und/oder über die Motor/Generator-Anordnung 45 in Strom umgewandelt werden.

Bei den Anlagen 30 und 40 zur Erzeugung von synthetischen funktionalen und/oder nicht-funktionalen Kohlenwasserstoffen erfolgt die Abkühlung des Wasserstoffes aus dem Kohlenwasserstoffkonverter 3, 3a, 3b und/oder des Synthesegases aus dem C-Konverter 9 nur soweit, dass die Betriebstemperatur des CO-Konverters 31 nicht unterschritten wird. Die Betriebstemperatur des CO-Konverters 31 liegt üblicherweise bei 200 bis 400°C, abhängig vom eingesetzten Verfahren.

Der Kohlenwasserstoffkonverter 3 kann bei allen oben beschriebenen Anlagen ein Hochtemperatur-Reaktor sein, welcher bei einer Temperatur von mehr als 1000°C arbeitet (z.B. ein Hochtemperatur-Kvaerner-Reaktor), oder ein Niedertemperatur-Reaktor, der bei einer Temperatur zwischen 200°C und 1000°C arbeitet (z.B. ein Niedertemperatur-Kvaerner-Reaktor). Ein derzeit erprobter Niedertemperatur-Reaktor arbeitet bei Temperaturen von 400 bis 900°C. Im Fall eines Niedertemperatur-Reaktor, der bei Temperaturen von 200 bis 900°C arbeitet, wird in Betracht gezogen, dass der eingeleitete Kohlenstoff in der Verbindung 8 zwischen Kohlenwasserstoffkonverter 3 und C-Konverter 9 vorgeheizt wird, da der C-Konverter 9 bei Temperaturen von 800 bis 1700°C und vorzugsweise 1000 bis 1200°C arbeitet. Aus den Fig. 7 und 8 wird weiter deutlich, dass eine Kombination von Hochtemperatur- und/oder Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonvertern bei allen oben beschriebenen Anlagen 1, 20, 30 und 40 verwendet werden kann.

Ebenso kann bei allen oben beschriebenen Anlagen 1, 20, 30 und 40 ein Teil des im Kohlenwasserstoffkonverter 3, 3a, 3b erzeugten Kohlenstoffes als Carbon Black, Aktivkohle oder sonstiger Rohstoff entnommen werden, sofern dieser Kohlenstoff nicht im C-Konverter 9 der Anlage 1, 20, 30, 40 umgesetzt wird. Weiterhin sei bemerkt, dass bei allen oben beschriebenen Anlagen eine Vielzahl von C-Konvertern 9 vorgesehen sein kann, die jeweils einen Teil des erzeugten Kohlenstoffes unter Zuleitung von Wasser zu Synthesegas umwandeln. Weiter kann optional bei allen oben beschriebenen Anlagen 30 und

40 eine Rückleitung von nicht erwünschten Anteilen der im CO-Konverter 31 synthetisch erzeugten funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffe zum Kohlenwasserstoffeingang 4, 4a, 4b des Kohlenwasserstoffkonverters 3 erfolgen.

5

In den Anlagen 1, 20, 30, 40 und bei den Verfahren zur Erzeugung von Synthesegas und/oder synthetischen funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffen kann überschüssiger Wasserstoff anfallen. Beispielsweise bleibt bei einem Synthesegas mit niedrigem H₂-Anteil noch Wasserstoff übrig, und abhängig von den synthetischen Kohlenwasserstoffen, die im CO-Konverter 31 erzeugt werden sollen, ist das Zuleiten von Wasserstoff in den Mischer 21 oder den CO-Konverter 31 nicht nötig. In diesen Fällen kann der überschüssige Wasserstoff auch direkt mittels Verbrennung oder in einer Brennstoffzelle in Strom umgewandelt werden. Dadurch kommt das Verfahren weitgehend ohne externe Stromzufuhr aus. Dies ist besonders vorteilhaft bei Anlagen, die an entlegenen Orten betrieben werden, an denen keine leistungsfähige allgemeine Stromversorgung zur Verfügung steht. Weiterhin sei bemerkt, dass ebenfalls ein Teil des im Kohlenwasserstoffkonverter 3 erzeugten Wasserstoffes direkt aus dem Verfahren ausgeleitet und als Rohstoff vermarktet werden kann.

20

In allen Anlagen können die Ströme von Kohlenstoff, Synthesegas und Wasserstoff bzw. externes CO zwischen den Konvertern 3, 9, 31 und dem Mischer durch Ventilelemente, Klappen, Schieber o.ä. gesteuert werden. Insbesondere wird in Betracht gezogen, dass der Zufluss von Synthesegas und Wasserstoff bzw. CO in den CO-Konverter 31 durch Ventile gesteuert werden kann. Eine Vermischung von Synthesegas und Wasserstoff bzw. CO in einem erwünschten Verhältnis läuft dann direkt im CO-Konverter 31 ab.

25

In allen oben dargestellten Anlagen kann der CO-Konverter 31 aus einer Vielzahl von CO-Konvertern bestehen (in den Zeichnungen nicht gezeigt), wobei die Gesamtmenge von im Kohlenwasserstoffkonverter 3, 3a, 3b erzeugten und abgetrennten Wasserstoffs und des im C-Konverter 9 erzeugten Synthesegases beliebig auf die Vielzahl von CO-Konvertern aufgeteilt werden kann.

30

- Die einzelnen CO-Konverter haben eine der oben beschriebenen Bauarten und Betriebsweisen. Die CO-Konverter können die gleiche Bauart und Betriebsweise aufweisen, oder verschiedene Bauarten und Betriebsweisen. In einer Ausführung mit unterschiedlichen CO-Konvertern können die einzelnen
- 5 CO-Konverter jeweils mit unterschiedlich zusammengesetztem Synthesegas betrieben werden und unterschiedliche Produkte liefern.

Es folgen zur weiteren Veranschaulichung einige Anwendungsbeispiele:

10 Beispiel 1:

- Nimmt man 1 Teil Methan und spaltet es im Kohlenwasserstoffkonverter, so erhält man einen Teil Kohlenstoff und zwei Teile Wasserstoff. Der Kohlenstoff wird im C-Konverter mit einem Teil Wasser zu einem Teil Kohlenmonoxid und einem Teil Wasserstoff umgesetzt. Nach Zufügung von 1,1 Teilen Wasserstoff
- 15 kann das Synthesegas im CO-Konverter zu Paraffin umgesetzt werden. Es steht dann noch genügend Wasserstoff zur Verfügung, um das Paraffin in einem weiteren Schritt zu Diesel, Ottokraftstoff oder Kerosin zu spalten.

Beispiel 2:

- 20 Nimmt man ein Teil Propan (Butan) und spaltet es im Kohlenwasserstoffkonverter, so erhält man 3 (4) Teile Kohlenstoff und 4 (5) Teile Wasserstoff. Der Kohlenstoff wird im C-Konverter mit 3 (4) Teilen Wasser zu einem Gemisch aus 3 (4) Teilen Kohlenmonoxid und 3 (4) Teilen Wasserstoff umgesetzt. Fügt man dem Synthesegas weitere 3,3 (4,4) Teile Wasserstoff zu, so kann es im
- 25 CO-Konverter zu Paraffin umgesetzt werden. Die Menge des verbliebenen Wasserstoffs ist in beiden Fällen gerade ausreichend, um das Paraffin in einem weiteren Schritt zu Diesel, Ottokraftstoff oder Kerosin zu spalten.

Beispiel 3:

Nimmt man ein Teil Schweröl (z.B. $C_{20}H_{42}$) und spaltet es im Kohlenwasserstoffkonverter, so erhält man 20 Teile Kohlenstoff und 21 Teile Wasserstoff. Der Kohlenstoff wird im C-Konverter mit 20 Teilen Wasser zu 20 Teilen Kohlenmonoxid und 20 Teilen Wasserstoff umgesetzt. Nach Hinzufügen der 21
5 Teile Wasserstoff kann das Synthesegas in einem anderen CO-Konverter zu 20 Teilen Methanol umgesetzt werden.

Da bei den hier beschriebenen Verfahren der Wasserstoff, der bei der Spaltung von Kohlenwasserstoffen im Kohlenwasserstoffkonverter 3 erzeugt wird,
10 von dem ebenfalls dort erzeugten Kohlenstoff getrennt wird, läßt sich der abgetrennte Wasserstoff nach erfolgter Erzeugung eines wasserstoffarmen Synthesegases eben diesem wasserstoffarmen Synthesegas in jedem beliebigen Verhältnis wieder zuführen. Eine Bandbreite des Verhältnisses von Wasserstoff zu CO von 1,0 bis 3,0 ist so möglich. Durch partielle Oxidation von überschüssigem Kohlenstoff ist ein Verhältnis von $< 1,0$ erreichbar, und durch
15 Nichtverwenden von überschüssigem Kohlenstoff ist ein Verhältnis von $> 3,0$ erreichbar.

20 Die Erfindung wurde anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele beschrieben, wobei die einzelnen Merkmale der beschriebenen Ausführungsbeispiele frei miteinander kombiniert werden können und/oder ausgetauscht werden können, sofern sie kompatibel sind. Ebenso können einzelne Merkmale der beschriebenen Ausführungsbeispiele weggelassen werden, sofern sie nicht
25 zwingend notwendig sind. Dem Fachmann sind zahlreiche Abwandlungen und Ausgestaltungen möglich und offensichtlich, ohne dass dadurch der Erfindungsgedanke verlassen wird. In einer besonders einfachen Ausgestaltung einer Anlage zur Erzeugung von synthetischen funktionalen und/oder nicht-funktionalen Kohlenwasserstoffen kann der C-Konverter zum Beispiel als einfache Rohrleitung (zum Beispiel ein Ausgangsrohr eines keine Trenneinheit aufweisenden Hochtemperatur-Kohlenwasserstoffkonverters) ausgebildet sein
30 in das ein Wassereinlaß mündet. Dabei sollte der Wassereinlaß so in die Rohrleitung einmünden, dass eine gute Durchmischung der jeweiligen Medienströme erreicht wird. Die Rohrleitung sollte von einer Isolierung umgeben

sein und könnte beispielsweise im Bereich eines Eingangs mit einer Heizeinheit in Verbindung stehen, um die Rohrleitung insbesondere zu Beginn des Betriebs auf eine Betriebstemperatur vorzuwärmen. Weiter stromabwärts könnte die Rohrleitung wiederum mit einem Wärmetauscher in Verbindung

5 stehen, der überschüssige Wärme ableiten und gegebenenfalls zum Wärmen anderer Bereiche der Anlage und/oder zur Erzeugung von Strom einsetzen kann. In die Rohrleitung kann zusätzlich (zum Beispiel stromabwärts des Wärmetauschers) eine Zuleitung für Wasserstoff aufweisen, sodass dieselbe Rohrleitung nicht nur die Funktion eines C-Konverters sondern auch eines Mi-

10 schers zum Erzeugen eines Synthesegases mit einem bestimmten Mischungsverhältnis übernehmen kann. Die Zuleitung für Wasserstoff kann zum Beispiel von einem Wasserstoffausgang eines Niedertemperatur-Kohlenwasserstoffkonverters (mit Trenneinheit) stammen. Ein Ausgangsende der Rohrleitung, an dem ein Synthesegas mit einem vorbestimmten Mi-

15 schungsverhältnis ausgegeben werden kann, könnte dann in einem CO-Konverter enden.

Ansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas, welches folgende Schritte aufweist:
- 5 Aufspalten eines Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids zu Kohlenstoff und Wasserstoff durch einen Energieeintrag, der wenigstens teilweise durch Wärme geleistet wird, wobei der Kohlenstoff und der Wasserstoff nach der Aufspaltung eine Temperatur von wenigstens 200°C aufweist;
- 10 In-Kontakt-Bringen von Wasser mit wenigstens einem Teil des Kohlenstoffes, der aus der Aufspaltung gewonnen wurde, bei einer Temperatur von 800 bis 1700°C, wobei sich der durch die Aufspaltung gewonnene Kohlenstoff beim In-Kontakt-Bringen mit dem Wasser um höchstens 50% in °C hinsichtlich seiner Temperatur nach der Aufspaltung abgekühlt hat;
- 15 Umwandeln wenigstens eines Teils des Wassers und des durch die Aufspaltung gewonnenen Kohlenstoffes in ein Synthesegas.
2. Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas nach Anspruch 1, wobei die
- 20 Aufspaltung bei einer Temperatur über 1000°C erfolgt und der Kohlenstoff bei einer Temperatur von wenigstens 1000°C, insbesondere bei einer Temperatur zwischen 1000°C und 1200°C mit dem Wasser in Kontakt gebracht wird.
- 25 3. Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas nach Anspruch 1 oder 2, wobei die erforderliche Wärme zum Erreichen der Temperatur von 800 bis 1700°C für die Umwandlung im Wesentlichen vollständig durch die Wärme, die für die Aufspaltung des Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids eingebracht wird, bereitgestellt wird.
- 30 4. Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der durch die Aufspaltung gewonnene Kohlenstoff und der durch die Aufspaltung gewonnene Wasserstoff gemeinsam mit dem Wasser in Kontakt gebracht werden.

5. Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der durch die Aufspaltung gewonnene Kohlenstoff vor dem In-Kontakt-Bringen mit dem Wasser von dem durch die Aufspaltung gewonnenen Wasserstoff getrennt wird.
6. Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens ein Teil der Wärme wenigstens eines Teils des durch die Aufspaltung gewonnenen Kohlenstoffs und/oder Wasserstoffes zum Erwärmen des Wassers vor dem In-Kontakt-Bringen mit dem Kohlenstoff und/oder zum Erwärmen eines Prozeßraums in dem das Wasser mit dem Kohlenstoff in Kontakt gebracht wird, verwendet wird.
7. Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Synthesegas nach der Umwandlung eine Temperatur von 800 bis 1700°C aufweist und wenigstens ein Teil seiner Wärme zum Vorwärmen des Wassers und/oder anderer für den Prozeß eingesetzter Medien verwendet wird.
8. Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens ein Teil der Wärme wenigstens eines Teils des durch die Aufspaltung gewonnenen Kohlenstoffs und/oder Wasserstoffes und/oder des Synthesegases zur Erzeugung von elektrischem Strom verwendet wird, der insbesondere als Energieträger für den Energieeintrag für das Aufspalten des Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids bereitgestellt wird.
9. Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Energieeintrag zum Aufspalten des Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids primär über ein Plasma erfolgt.

10. Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Aufspaltung in einem Kvaerner-Reaktor durchgeführt wird.
- 5 11. Verfahren zum Erzeugen von Synthesegas, bei dem durch die Umwandlung entstehenden Synthesegas zusätzlicher Wasserstoff und/oder Kohlmonoxid beigemischt wird.
- 10 12. Verfahren zum Erzeugen eines Synthesegases nach Anspruch 11, wobei der zusätzliche Wasserstoff durch Aufspalten eines Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids zu Kohlenstoff und Wasserstoff durch einen Energieeintrag, der wenigstens teilweise durch Wärme geleistet wird, erzeugt wird.
- 15 13. Verfahren zum Erzeugen eines Synthesegases nach Anspruch 12, wobei wenigstens ein Teil des zusätzlichen Wasserstoffs durch Aufspalten eines Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids bei einer Temperatur unter 1000°C, insbesondere unter 600°C mittels eines Mikrowellenplasmas erzeugt wird.
- 20 14. Verfahren zum Erzeugen eines Synthesegases nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei das Verhältnis CO zu Wasserstoff im Synthesegas auf einen Wert von 1:1 bis 1:3, insbesondere auf einen Wert von ungefähr 1:2,1 eingestellt wird.
- 25 15. Verfahren zum Erzeugen von synthetischen, funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffen, bei dem zunächst ein Synthesegas nach einem der Ansprüche 1 bis 14 erzeugt und dieses mit einem geeigneten Katalysator in Kontakt gebracht wird, um eine
- 30 Umwandlung des Synthesegases in synthetische, funktionalisierte und/oder nicht-funktionalisierte Kohlenwasserstoffe zu bewirken, wobei die Temperatur des Katalysators und/oder des Synthesegases auf einen vorbestimmten Temperaturbereich gesteuert oder geregelt wird.

16. Verfahren zum Erzeugen von synthetischen, funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffen nach Anspruch 15, wobei die Umwandlung des Synthesegases mittels eines Fischer-Tropsch-Verfahrens, insbesondere mittels eines SMDS-Verfahrens erfolgt.
- 5
17. Verfahren zum Erzeugen von synthetischen, funktionalisierten und/oder nicht-funktionalisierten Kohlenwasserstoffen nach Anspruch 15, wobei die Umwandlung des Synthesegases mittels eines Bergius-Pier-Verfahrens, eines Pier-Verfahrens oder einer Kombination aus einem
- 10 Pier-Verfahren mit einem MtL-Verfahren erfolgt.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das aufzuspaltende Kohlenwasserstoff enthaltende Fluid Erdgas, Methan, Flüssiggas, Schweröl oder eine Mischung derselben ist.
- 15
19. Vorrichtung zum Erzeugen eines Synthesegases, die folgendes aufweist:
- 20 einen Kohlenwasserstoffkonverter zum Aufspalten eines Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids in Kohlenstoff und Wasserstoff, der wenigstens einen Prozessraum mit wenigstens einem Eingang für ein Kohlenwasserstoff enthaltendes Fluid und wenigstens einem Ausgang für Kohlenstoff und/oder Wasserstoff und wenigstens eine Einheit zum Einbringen von Energie in den Prozessraum, die wenigstens teilweise aus Wärme besteht, aufweist;
- 25 einen C-Konverter zur Umwandlung von Wasser und Kohlenstoff, der wenigstens einen weiteren Prozessraum mit wenigstens einem Eingang für Wasser, wenigstens einem Eingang für wenigstens Kohlenstoff und wenigstens einem Ausgang aufweist, wobei der Eingang für wenigstens Kohlenstoff direkt mit dem wenigstens einem Ausgang des Kohlenwasserstoffkonverters verbunden ist.
- 30
20. Vorrichtung zum Erzeugen eines Synthesegases nach Anspruch 19, wobei die wenigstens eine Einheit zum Einbringen von Energie in den

Prozessraum so ausgebildet ist, dass sie wenigstens lokal Temperaturen über 1000°C erzeugen kann.

21. Vorrichtung zum Erzeugen eines Synthesegases nach Anspruch 19
oder 20, wobei die wenigstens eine Einheit zum Einbringen von Energie in den Prozessraum eine Plasmaeinheit, insbesondere eine Mikrowellen-Plasmaeinheit aufweist.
22. Vorrichtung zum Erzeugen eines Synthesegases nach einem der Ansprüche 19 bis 21, wobei der Prozessraum des C-Konverters durch ein Auslaßrohr des Kohlenwasserstoffkonverters gebildet wird, das mit einer Einspeisung für Wasser verbunden ist.
23. Vorrichtung zum Erzeugen eines Synthesegases nach einem der Ansprüche 19 bis 22, die ferner eine Trenneinheit zum Trennen des durch die Aufspaltung entstandenen Kohlenstoffs und des Wasserstoffs und getrennte Ausgänge für die getrennten Stoffe aus der Trenneinheit aufweist, wobei der Ausgang für Kohlenstoff mit dem C-Konverter verbunden ist.
24. Vorrichtung zum Erzeugen eines Synthesegases nach einem der Ansprüche 19 bis 23, wobei der Kohlenwasserstoffkonverter einen Kvaerner-Reaktor aufweist.
25. Vorrichtung zum Erzeugen eines Synthesegases, die ferner wenigstens eine separate Zuleitung für Wasserstoff oder Kohlenmonoxid in den C-Konverter oder eine stromabwärts befindlichen Mischraum aufweist.
26. Vorrichtung zum Erzeugen eines Synthesegases nach Anspruch 25, mit wenigstens einem weiteren Kohlenwasserstoffkonverter zum Aufspalten eines Kohlenwasserstoff enthaltenden Fluids in Kohlenstoff und Wasserstoff, der folgendes aufweist:
Wenigstens einen Prozessraum mit wenigstens einem Eingang für das Kohlenwasserstoff enthaltende Fluid,

- wenigstens eine Einheit zum Einbringen von Energie in den Prozessraum, die wenigstens teilweise aus Wärme besteht,
eine Trenneinheit zum Trennen des durch die Aufspaltung entstandenen Kohlenstoffs und des Wasserstoffs mit getrennten Ausgängen für Kohlenstoff und Wasserstoff, wobei der Ausgang für Wasserstoff mit
5 der separaten Zuleitung für Wasserstoff verbunden ist.
27. Vorrichtung zum Erzeugen eines Synthesegases nach Anspruch 26, wobei der wenigstens eine weitere Kohlenwasserstoffkonverter des
10 Typs ist, der eine Aufspaltung bei Temperaturen unter 1000°C, insbesondere unter 600°C mittels eines Mikrowellenplasmas bewirkt.
28. Vorrichtung zum Umwandeln eines Synthesegases in synthetische, funktionalisierte und/oder nicht-funktionalisierte Kohlenwasserstoffe, die
15 folgendes aufweist:
eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 27; und
einen CO-Konverter mit einem Prozessraum in dem ein Katalysator angeordnet ist und Mittel zum Leiten des Synthesegases in Kontakt mit dem Katalysator, und eine Steuereinheit zum Steuern oder Regeln der
20 Temperatur des Katalysators und/oder des Synthesegases auf eine vorbestimmte Temperatur.
29. Vorrichtung nach Anspruch 28, wobei der CO-Konverter einen Fischer-Tropsch-Konverter, insbesondere einen SMDS-Konverter aufweist.
25
30. Vorrichtung nach Anspruch 28, wobei der CO-Konverter einen Bergius-Pier-Konverter, einen Pier-Konverter oder eine Kombination eines Pier-Konverters mit einen MtL-Konverter aufweist.
- 30 31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 28 bis 30, die ferner eine Steuereinheit zum Steuern oder Regeln des Drucks des Synthesegases im CO-Konverter aufweist.