



(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,

TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Verfahren für die Herstellung von Synthesegas

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Synthesegas, umfassend die Schritte des Bereitstellen eines Strömungsreaktors, Festlegen von Schwellwerten, Vergleichen von Energiepreisen und/oder anderer Betriebsparameter für den Reaktor sowie, verkürzt
5 zusammengefasst, ein Betrieb zwischen den Betriebsweisen Dry Reforming und umgekehrte Wassergas-Shift-Reaktion.

Konventionell erfolgt die Herstellung von Synthesegas mittels der Dampfreformierung von Methan. Aufgrund des hohen Wärmebedarfs der beteiligten Reaktionen erfolgt deren Durchführung in von außen beheizten Reformerröhren. Charakteristisch für dieses Verfahren ist
10 die Limitierung durch das Reaktionsgleichgewicht, eine Wärmetransportlimitierung und vor allem die Druck- und Temperaturlimitierung der eingesetzten Reformerröhren (nickelbasierte Stähle). Temperatur- und druckseitig resultiert daraus eine Limitierung auf maximal 900 °C bei ca. 20 bis 40 bar.

Im Stand der Technik sind einige Vorschläge für eine interne Heizung von chemischen Reaktoren
15 bekannt geworden. So beschreiben beispielsweise Zhang et al., International Journal of Hydrogen Energy 2007, 32, 3870-3879 die Simulation und experimentelle Analyse eines co-axialen, zylindrischen Methan-Dampfreformers unter Verwendung eines elektrisch beheizten Alunit-Katalysators (EHAC).

Hinsichtlich eines Wechselbetriebes beschreiben DE 10 2007 022 723 A1 beziehungsweise US
20 2010/0305221 ein Verfahren zur Herstellung und Umsetzung von Synthesegas, das dadurch gekennzeichnet ist, dass es mehrere unterschiedliche Betriebszustände aufweist, die im Wesentlichen aus dem im Wechsel zueinander stehenden (i) Tagesbetrieb und (ii) Nachtbetrieb bestehen, wobei der Tagesbetrieb (i) hauptsächlich die trockene Reformierung und das Steamreforming unter der Zuführung von regenerativer Energie und der Nachtbetrieb (ii)
25 hauptsächlich die partielle Oxidation von Kohlenwasserstoffen umfasst und wobei das hergestellte Synthesegas zur Herstellung von Wertprodukten verwendet wird.

US 2007/003478 A1 offenbart die Herstellung von Synthesegas mit einer Kombination von Dampfreformierungs- und Oxidationschemie. Das Verfahren beinhaltet die Verwendung von Feststoffen, um den Kohlenwasserstoff-Feed aufzuheizen und das gasförmige Produkt abzukühlen.
30 Gemäß dieser Veröffentlichung kann Wärme dadurch konserviert werden, dass der Gasfluss von Feed- und Produktgasen intervallmäßig umgekehrt wird.

WO 2007/042279 A1 beschäftigt sich mit einem Reformersystem mit einem Reformer zum chemischen Umsetzen eines kohlenwasserstoffhaltigen Kraftstoffes in ein wasserstoffgasreiches Reformatgas, sowie elektrischen Heizmitteln, mittels welchen dem Reformer Wärmeenergie zum Herstellen einer für die Umsetzung erforderlichen Reaktionstemperatur zuführbar ist, wobei das
5 Reformersystem weiterhin einen Kondensator aufweist, der die elektrischen Heizmittel mit elektrischem Strom versorgen kann.

WO 2004/071947 A2/ US 2006/0207178 A1 betreffen ein System zur Herstellung von Wasserstoff, umfassend einen Reformer zur Generierung von Wasserstoff aus einem Kohlenwasserstoff-Treibstoff, einen Kompressor zur Komprimierung des erzeugten Wasserstoffs,
10 eine erneuerbare Energiequelle zur Umwandlung einer erneuerbaren Ressource in elektrische Energie zum Antrieb des Kompressors und eine Speichervorrichtung zur Speicherung des Wasserstoffs von dem Kompressor.

Das Ziel ist die Nutzung von elektrischer Energie zur kontinuierlichen Herstellung von Synthesegas. Dabei soll bevorzugt CO₂ als Teil des Eduktstromes eingesetzt werden (aber nicht
15 nur auf CO₂ begrenzt). Für die Ausführung der Reaktion sind, insbesondere am Austritt des Reaktors, hohe Temperaturen $\gg 850$ °C anzustreben, um Ausbeuten zu maximieren. Das dadurch hergestellte Synthesegas kann zur Herstellung synthetischen Öls durch die Fischer-Tropsch Reaktion verwendet werden.

Parallel zu jeder Ölförderung tritt als Nebenkomponekte so genanntes "Associated Gas" auf,
20 welches unter hohem Druck im Erdinneren im Öl gelöst vorliegt. Da es im Falle von Öl-Feldern auf offener See wenige Möglichkeiten für die Benutzung des "Associated gas" gibt, wird dieses meist vollständig (katalytisch und homogen) in Turbinen verbrannt, abgefackelt oder zurück ins Öl-Feld gepumpt. Im Falle der Verbrennung werden keine chemischen Wertprodukte hergestellt und ausschließlich CO₂ und H₂O produziert. Für das Pumpen wird noch zusätzliche Energie
25 gebraucht, was die gesamten Produktkosten noch erhöht. Eine Alternative für die Verwertung von "Associated gas" ist der so genannte gas-to-liquid Prozess. "Associated Gas" kann durch Dampfpreformierung in Synthesegas umgewandelt werden, dabei wird im Falle von Methan ein H₂ und CO Gemisch im Verhältnis 3:1 hergestellt. Wegen thermodynamischer Limitierung der Reformierung bleibt 10 bis 20% des gesamten Methans (hängt von Ausgangstemperatur und Druck
30 ab) nicht umgesetzt. Deshalb wird eine Alternative gesucht, um die gesamte Effizienz des Reformierungsprozesses zu verbessern. Aus einem H₂:CO Gemisch (im Verhältnis 2:1) wird durch Fischer-Tropsch-Reaktion eine flüssige Phase als Gemisch von Kohlenwasserstoffen mit Kettenlängen von mehr als 5 (C₅+, synthetisches Öl) entstehen. Der überschüssige Wasserstoff kann vom Synthesegas abgetrennt werden und braucht eine Verwertung, die auf einer Öl-

Plattform oder einem Schiff nicht gegeben ist (keine weitere Verwendung innerhalb einer chemische Produktionskette möglich). Zusätzlich entstehen C1-C4 gasförmige Produkte und nicht reagiertes CO/H₂ Gemisch, die auch eine Verwendung benötigen.

Die vorliegende Erfindung hat sich die Aufgabe gestellt, die Prozessführung der endothermen und/oder exothermen Synthesegaserzeugung hinsichtlich des Energiebedarfes so zu gestalten, dass
5 der Methanumsatz bei dem Reformierungsprozess verbessert und parallel dazu überschüssiger Wasserstoff, C1-C4 gasförmige Kohlenwasserstoffe und das restliche CO/H₂-Gemisch aus der Fischer-Tropsch-Reaktion wirtschaftlich und ökologisch verwendet werden können. Damit kann das Endprodukt (in diesem Fall synthetisches Öl / C5+ Produktion ist nur Zwischenprodukt)
10 optimal (wirtschaftlicher; ökologischer spricht bessere Kohlenstoffeffizienz für den gesamten Prozess) hergestellt werden. Zusätzlich sollte eine kontinuierliche Syngasherstellung (Sicherung der Produktion) gewährleistet werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung von Synthesegas, umfassend die Schritte:

15 - Bereitstellen eines Strömungsreaktors, welcher zur Reaktion eines Reaktanden umfassenden Fluids eingerichtet ist,

wobei der Reaktor mindestens eine Heizebene umfasst, welche mittels eines oder mehrerer Heizelemente elektrisch beheizt wird,

wobei die Heizebene von dem Fluid durchströmbar ist und

20 wobei an mindestens einem ein Katalysator angeordnet ist und dort beheizbar ist;

- Festlegen eines

Schwellwertes S1 für die Kosten der für den Strömungsreaktor zur Verfügung stehenden elektrischen Energie und/oder eines

25 Schwellwertes S2 für die dem Strömungsreaktor zur Verfügung stehenden Menge an elektrischer Energie und/oder eines

Schwellwertes S3 für eine benötigte Menge an im Reaktor zu produzierendem Synthesegas und/oder eines

Schwellwertes S4 für den Mengenanteil der zur Verfügung stehenden C1- bis C4-Kohlenwasserstoffe, welche zur Herstellung des Synthesegases im Strömungsreaktor

herangezogen werden im Gegensatz zur Gewinnung elektrischer Energie durch Verbrennung;

- Vergleichen

5 der Kosten der für den Strömungsreaktor zur Verfügung stehenden elektrischen Energie mit dem Schwellwert S1 und/oder

der dem Strömungsreaktor zur Verfügung stehenden Menge an elektrischer Energie mit dem Schwellwert S2 und/oder

der gegenwärtig im Strömungsreaktor produzierten Menge an Synthesegas mit dem Schwellwert S3 und/oder

10 des Mengenanteils der zur Verfügung stehenden C1- bis C4-Kohlenwasserstoffe, welche zur Herstellung des Synthesegases im Strömungsreaktor herangezogen werden, mit dem Schwellwert S4;

- Reaktion (A) von Kohlendioxid mit Kohlenwasserstoffen in dem Strömungsreaktor, wobei als Produkt mindestens Kohlenmonoxid gebildet wird, unter elektrischer Beheizung durch ein oder mehrere Heizelemente (110, 111, 112, 113), wenn wenigstens eines der Kriterien zutrifft:

15 der Schwellwert S1 wird unterschritten und/oder der Schwellwert S2 wird überschritten und/oder der Schwellwert S3 wird unterschritten und/oder der Schwellwert S4 wird überschritten;

- Reaktion (B) von Kohlendioxid mit Wasserstoff in dem Strömungsreaktor, wobei als Produkt mindestens Kohlenmonoxid gebildet wird, unter elektrischer Beheizung durch ein oder mehrere Heizelemente (110, 111, 112, 113), wenn wenigstens eines der Kriterien zutrifft:

20 der Schwellwert S1 wird überschritten und/oder und/oder der Schwellwert S2 wird unterschritten wird und/oder der Schwellwert S3 wird überschritten und/oder der Schwellwert S4 wird unterschritten;

25 wobei die Reaktionen (A) und (B) zu einem gegebenen Zeitpunkt in einem frei wählbaren Anteilsverhältnis zueinander durchgeführt werden.

Im erfindungsgemäßen Verfahren zum hybriden Betrieb einer Synthesegasherstellung wird anhand von einem oder mehreren Schwellwerten entschieden, welche Betriebsart gewählt werden soll. Der erste Schwellwert S1 betrifft die Elektrizitätskosten für den Reaktor, im Speziellen die Kosten für

eine elektrische Beheizung des Reaktors durch die Heizelemente in den Heizebenen. Hier kann festgelegt werden, bis zu welcher Höhe die elektrische Beheizung noch wirtschaftlich sinnvoll ist.

Der zweite Schwellwert S2 betrifft die für den Strömungsreaktor und dabei insbesondere für den Heizbetrieb zur Verfügung stehende elektrische Energie. Dieser Parameter ist besonders von
5 Belang, wenn autarke Systeme wie Schiffe oder Ölbohrplattformen betrachtet werden.

Der dritte Schwellwert S3 betrifft die Produktionsanforderung an den Reaktor. In einem Produktionsverbund können beispielsweise durch Wartung oder Produktumstellungen wechselnde Kapazitäten im Downstream-Bereich auftreten, welche unterschiedliche Mengenanforderungen mit sich bringen.

10 Der vierte Schwellwert S4 bildet ab, wie viele der generell zur Verfügung stehenden Kohlenwasserstoffe für die Synthesegasherstellung und wie viele für die Erzeugung elektrischer Energie in einem Generator mit Verbrennungsmotor vorgesehen sind. Es ist somit eine Allokation der chemischen Energiequelle in Form der Kohlenwasserstoffe für chemische Reaktionen oder für die Energieerzeugung. Dieses ist auch wieder besonders relevant für autarke Systeme wie Schiffe
15 oder Ölbohrplattformen.

Ein Vergleich der Soll-Werte mit den Ist-Werten im Verfahren kann nun zu dem Ergebnis gelangen, dass elektrische Energie preisgünstig vorhanden ist, genug elektrische Energie zur Verfügung steht, mehr Synthesegas benötigt wird und/oder genug Kohlenwasserstoffe zur Verfügung stehen. Dann wird der Strömungsreaktor so betrieben, dass beispielsweise eine Dry
20 Reforming-Reaktion abläuft. Die beteiligten Kohlenwasserstoffe sind vorzugsweise Alkane, Alkene, Alkine, Alkanole, Alkenole und/oder Alkinole. Unter den Alkanen ist Methan besonders geeignet, unter den Alkanolen sind Methanol und/oder Ethanol bevorzugt.

Dry Reforming von Methan (DR): $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2 \text{CO} + 2 \text{H}_2$

Ergibt der Soll/Ist-Vergleich, dass elektrische Energie teuer ist, wenig elektrische Energie zur
25 Verfügung steht, weniger Synthesegas benötigt wird und/oder nicht genug Kohlenwasserstoffe zur Verfügung stehen, wird der Strömungsreaktor so betrieben, dass beispielsweise eine RWGS-Reaktion abläuft.

Umgekehrte Wassergas-Shift-Reaktion (RWGS): $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$

Weiterhin kann als alternative oder zusätzliche Beheizungsmethode die Verbrennung von
30 Wasserstoff eingesetzt werden. Es ist sowohl möglich, dass die Verbrennung von Wasserstoff bei der RWGS-Reaktion durch Zudosierung von O_2 in das Eduktgas (idealerweise eine örtlich verteilte

oder seitliche Zudosierung) erfolgt, als auch möglich, dass wasserstoffreiche Restgase (zum Beispiel PSA-Abgas), wie sie bei der Aufreinigung des Synthesegases anfallen können, zurückgeführt und zusammen mit O₂ verbrannt werden, wodurch dann das Prozessgas aufgeheizt wird.

- 5 Ein Vorteil der oxidativen Fahrweise ist, dass durch Dry Reforming oder Steam Reforming gebildete Rußablagerungen entfernt werden können und so der eingesetzte Katalysator regeneriert werden kann. Überdies ist es möglich Passivierungsschichten, der Heizleiter oder anderer metallischer Einbauten, zu regenerieren, um die Standzeit zu erhöhen.

- 10 In der Regel werden endotherme Reaktionen von außen durch die Wände der Reaktionsröhren beheizt. Dem gegenüber steht die autotherme Reformierung mit O₂-Zugabe. Im hier beschriebenen Reaktorbetrieb kann über eine elektrische Beheizung innerhalb des Reaktors (die unerwünschte Alternative wäre elektrische Beheizung via Strahlung durch die Reaktorwand) die endotherme Reaktion effizient intern mit Wärme versorgt werden.

- 15 Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, die DR-, SMR- und RWGS-Reaktionen in demselben Reaktor ablaufen zu lassen. Ein Mischbetrieb ist ausdrücklich vorgesehen. Einer der Vorteile dieser Möglichkeit ist das allmähliche Anfahren der jeweils anderen Reaktion, zum Beispiel durch kontinuierliches Reduzieren der Wasserstoffzufuhr bei gleichzeitiger Erhöhung der Methanzufuhr oder durch kontinuierliches Erhöhen der Wasserstoffzufuhr bei gleichzeitiger Verringerung der Methanzufuhr. Weiterhin lassen sich so die verschiedenen Schwellwerte gewichten, um so ein
- 20 einem mehrdimensionalen Optimierungsproblem eine zufriedenstellende Lösung für den Reaktorbetrieb zu finden.

Das erfindungsgemäße Verfahren weist die folgenden Vorteile auf:

- 1) Eine dynamische Fahrweise (d.h. Flexibilität und Sicherheit) bei der Endproduktherstellung (C5+ Kohlenwasserstoffe) ist möglich (dabei ist Syngas als Gemisch aus Wasserstoff und CO ein
- 25 Zwischenprodukt)
- 2) Eine dynamische Fahrweise (d.h. Flexibilität und Sicherheit) bei der Edukt-Versorgung (Auswahl zwischen verschiedenen endothermen und/oder exothermen Reaktionen in Nachreaktor) ist möglich.
- 3) Sichere Syngas-Versorgung im Falle eines SMR Ausfalls wird ermöglicht
- 30 4) Sicherung der Energieversorgung des Standortes (Plattform, Schiff: Möglichkeit Schwankungen in Energieversorgung auszugleichen durch die Variation der Leistung des Nachreaktors)

5) Einsatz als Nachreaktor ermöglicht kompaktere Bauweise des Reformersystems (geringerer Bedarf an Platz und Investitionsmittel).

Die vorliegende Erfindung einschließlich bevorzugter Ausführungsformen wird in Verbindung mit der nachfolgenden Zeichnung weiter erläutert, ohne hierauf beschränkt zu sein. Die Ausführungsformen können beliebig miteinander kombiniert werden, sofern sich nicht eindeutig das Gegenteil aus dem Kontext ergibt.

FIG. 1 zeigt schematisch einen Strömungsreaktor in expandierter Darstellung.

FIG. 2 zeigt schematisch einen Produktionsverbund unter Ausnutzung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

10 In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst der Strömungsreaktor:

in Strömungsrichtung des Fluids gesehen eine Mehrzahl von Heizebenen,

welche mittels Heizelementen elektrisch beheizt werden und

wobei die Heizebenen von dem Fluid durchströmbar sind,

wobei an mindestens einem Heizelement ein Katalysator angeordnet ist und dort beheizbar ist,

15 wobei weiterhin mindestens einmal eine Zwischenebene zwischen zwei Heizebenen angeordnet ist und

wobei die Zwischenebene ebenfalls von dem Fluid durchströmbar ist.

Der in FIG. 1 schematisch gezeigte erfindungsgemäß einzusetzende Strömungsreaktor wird von einem Reaktanden umfassenden Fluid von oben nach unten durchströmt, wie durch die Pfeile in der Zeichnung dargestellt. Das Fluid kann flüssig oder gasförmig sein und einphasig oder mehrphasig aufgebaut sein. Vorzugsweise, auch angesichts der möglichen Reaktionstemperaturen, ist das Fluid gasförmig. Es ist sowohl denkbar, dass das Fluid ausschließlich Reaktanden und Reaktionsprodukte enthält, aber auch, dass zusätzlich inerte Komponenten wie Inertgase im Fluid vorliegen.

25 In Strömungsrichtung des Fluids gesehen weist der Reaktor eine Mehrzahl von (im vorliegenden Fall vier) Heizebenen 100, 101, 102, 103 auf, welche mittels entsprechender Heizelemente 110, 111, 112, 113 elektrisch beheizt werden. Die Heizebenen 100, 101, 102, 103 werden im Betrieb des Reaktors von dem Fluid durchströmt und die Heizelemente 110, 111, 112, 113 werden von dem Fluid kontaktiert.

An mindestens einem Heizelement 110, 111, 112, 113 ist ein Katalysator angeordnet und ist dort beheizbar. Der Katalysator kann direkt oder indirekt mit den Heizelementen 110, 111, 112, 113 verbunden sein, so dass diese Heizelemente den Katalysatorträger oder einen Träger für den Katalysatorträger darstellen.

- 5 In dem Reaktor erfolgt somit die Wärmeversorgung der Reaktion elektrisch und wird nicht von Außen mittels Strahlung durch die Wandungen des Reaktors eingebracht, sondern direkt in das Innere des Reaktionsraumes. Es wird eine direkte elektrische Beheizung des Katalysators realisiert.

Für die Heizelemente 110, 111, 112, 113 kommen bevorzugt Heißeiterlegierungen wie FeCrAl-Legierungen zum Einsatz. Alternativ zu metallischen Werkstoffen können zudem auch elektrisch leitfähige Si-basierte Materialien, besonders bevorzugt SiC, eingesetzt werden.

10

Im Reaktor ist weiterhin mindestens einmal eine vorzugsweise keramische Zwischenebene 200, 201, 202 zwischen zwei Heizebenen 100, 101, 102, 103 angeordnet, wobei die Zwischenebene(n) 200, 201, 202 ebenfalls im Betrieb des Reaktors vom dem Fluid durchströmt werden. Dieses hat den Effekt einer Homogenisierung der Fluidströmung. Es ist auch möglich, dass zusätzlicher Katalysator in einer oder mehreren Zwischenebenen 200, 201, 202 oder weiteren Isolationselementen im Reaktor vorhanden ist. Dann kann eine adiabatische Reaktion ablaufen. Die Zwischenebenen können bei Bedarf insbesondere bei Reaktionen, in denen eine Sauerstoff-Zufuhr vorgesehen ist, als Flamm Sperre fungieren.

15

Bei der Verwendung von FeCrAl-Heißeitern kann die Tatsache ausgenutzt werden, dass das Material durch Temperatureinwirkung in Gegenwart von Luft/Sauerstoff eine Al_2O_3 -Schutzschicht ausbildet. Diese Passivierungsschicht kann als Grundschiicht eines Washcoats dienen, welcher als katalytisch aktive Beschichtung fungiert. Damit ist die direkte Widerstandsbeheizung des Katalysators beziehungsweise die Wärmeversorgung der Reaktion direkt über die katalytische Struktur realisiert. Es ist auch, bei Verwendung anderer Heißeiter, die Bildung anderer Schutzschichten wie beispielsweise von Si-O-C-Systemen möglich.

20

25

Die Druckaufnahme im Reaktor kann über einen druckfesten Stahlmantel erfolgen. Unter Verwendung geeigneter keramischer Isolationsmaterialien kann erreicht werden, dass der drucktragende Stahl Temperaturen von weniger als 200 °C und, wo notwendig, auch weniger als 60 °C ausgesetzt wird. Durch entsprechende Vorrichtungen kann dafür gesorgt werden, dass bei Taupunktunterschreitung keine Auskondensation von Wasser am Stahlmantel erfolgt.

30

Die elektrischen Anschlüsse sind in FIG. 1 nur sehr schematisch dargestellt. Sie können im kalten Bereich des Reaktors innerhalb einer Isolierung zu den Enden des Reaktors geführt oder seitlich

aus den Heizelementen 110, 111, 112, 113 durchgeführt werden, so dass die eigentlichen elektrischen Anschlüsse im kalten Bereich des Reaktors vorgesehen sein können. Die elektrische Beheizung erfolgt mit Gleichstrom oder Wechselstrom.

5 Durch geeignete Formgebung kann eine Oberflächenvergrößerung erreicht werden. Es ist möglich, dass in den Heizebenen 100, 101, 102, 103 Heizelemente 110, 111, 112, 113 angeordnet sind, welche spiralförmig, mäanderförmig, gitterförmig und/oder netzförmig aufgebaut sind.

Es ist weiterhin möglich, dass an zumindest einem Heizelement 110, 111, 112, 113 eine von den übrigen Heizelementen 110, 111, 112, 113 verschiedene Menge und/oder Art des Katalysators vorliegt. Vorzugsweise sind die Heizelemente 110, 111, 112, 113 so eingerichtet, dass sie jeweils
10 unabhängig voneinander elektrisch beheizt werden können.

Im Endergebnis können die einzelnen Heizebenen einzeln gesteuert und geregelt werden. Im Reaktoreintrittsbereich kann nach Bedarf auch auf einen Katalysator in den Heizebenen verzichtet werden, so dass ausschließlich die Aufheizung und keine Reaktion im Eintrittsbereich erfolgt. Dieses ist insbesondere im Hinblick auf das Anfahren des Reaktors von Vorteil. Wenn sich die
15 einzelnen Heizebenen 100, 101, 102, 103 in Leistungseintrag, Katalysatorbeladung und/oder Katalysatorart unterscheiden, kann ein für die jeweilige Reaktion angepasstes Temperaturprofil erreicht werden. In Hinblick auf die Anwendung für endotherme Gleichgewichtsreaktionen ist dieses beispielsweise ein Temperaturprofil, das die höchsten Temperaturen und damit den höchsten Umsatz am Reaktoraustritt erreicht.

20 Die (beispielsweise keramischen) Zwischenebenen 200, 201, 202 respektive ihr Inhalt 210, 211, 212 umfassen ein gegenüber den Reaktionsbedingungen beständiges Material, beispielsweise einen keramischen Schaum. Sie dienen zur mechanischen Abstützung der Heizebenen 100, 101, 102, 103 sowie zur Durchmischung und Verteilung des Gasstroms. Gleichzeitig ist so eine elektrische Isolierung zwischen zwei Heizebenen möglich. Es ist bevorzugt, dass das Material des
25 Inhalts 210, 211, 212 einer Zwischenebene 200, 201, 202 Oxide, Carbide, Nitride, Phosphide und/oder Boride von Aluminium, Silizium und/oder Zirkonium umfasst. Ein Beispiel hierfür ist SiC. Ferner bevorzugt ist Cordierit.

Die Zwischenebene 200, 201, 202 kann beispielsweise eine lose Schüttung von Festkörpern umfassen. Diese Festkörper selbst können porös oder massiv sein, so dass das Fluid durch Lücken
30 zwischen den Festkörpern hindurchströmt. Es ist bevorzugt, dass das Material der Festkörper Oxide, Carbide, Nitride, Phosphide und/oder Boride von Aluminium, Silizium und/oder Zirkonium umfasst. Ein Beispiel hierfür ist SiC. Ferner bevorzugt ist Cordierit.

Es ist ebenfalls möglich, dass die Zwischenebene 200, 201, 202 einen einstückigen porösen Festkörper umfasst. In diesem Fall durchströmt das Fluid die Zwischenebene über die Poren des Festkörpers. Dieses ist in FIG. 1 dargestellt. Bevorzugt sind Wabenmonolithe, wie sie beispielsweise bei der Abgasreinigung von Verbrennungsmotoren eingesetzt werden.

- 5 Eine weitere denkbare Möglichkeit ist, dass eine oder mehrere der Zwischenebenen Leerräume sind.

Hinsichtlich der baulichen Abmessungen ist bevorzugt, dass die durchschnittliche Länge einer Heizebene 100, 101, 102, 103 in Strömungsrichtung des Fluids gesehen und die durchschnittliche Länge einer Zwischenebene 200, 201, 202 in Strömungsrichtung des Fluids gesehen in einem
10 Verhältnis von $\geq 0,01:1$ bis $\leq 100:1$ zueinander stehen. Noch vorteilhafter sind Verhältnisse von $\geq 0,1:1$ bis $\leq 10:1$ oder $0,5:1$ bis $\leq 5:1$.

Geeignete Katalysatoren können beispielsweise ausgewählt sein aus der Gruppe umfassend:

(I) ein Mischmetalloxid der $A_{(1-w-x)}A'_wA''_xB_{(1-y-z)}B'_yB''_zO_{3-\delta}$

wobei hier gilt:

- 15 A, A' und A'' sind unabhängig voneinander ausgewählt aus der Gruppe: Mg, Ca, Sr, Ba, Li, Na, K, Rb, Cs, Sn, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Tl, Lu, Ni, Co, Pb, Bi und/oder Cd;

B, B' und B'' sind unabhängig voneinander ausgewählt aus der Gruppe: Cr, Mn, Fe, Bi, Cd, Co, Cu, Ni, Sn, Al, Ga, Sc, Ti, V, Nb, Ta, Mo, Pb, Hf, Zr, Tb, W, Gd, Yb, Mg, Li, Na, K, Ce und/oder Zn;

20 und

$0 \leq w \leq 0,5$; $0 \leq x \leq 0,5$; $0 \leq y \leq 0,5$; $0 \leq z \leq 0,5$ und $-1 \leq \delta \leq 1$;

(II) ein Mischmetalloxid der Formel $A_{(1-w-x)}A'_wA''_xB_{(1-y-z)}B'_yB''_zO_{3-\delta}$

wobei hier gilt:

- A, A' und A'' sind unabhängig voneinander ausgewählt aus der Gruppe: Mg, Ca, Sr, Ba, Li, Na, K,
25 Rb, Cs, Sn, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Tl, Lu, Ni, Co, Pb und/oder Cd;

B ist ausgewählt aus der Gruppe: Cr, Mn, Fe, Bi, Cd, Co, Cu, Ni, Sn, Al, Ga, Sc, Ti, V, Nb, Ta, Mo, Pb, Hf, Zr, Tb, W, Gd, Yb, Bi, Mg, Cd, Zn, Re, Ru, Rh, Pd, Os, Ir und/oder Pt;

B' ist ausgewählt aus der Gruppe: Re, Ru, Rh, Pd, Os, Ir und/oder Pt;

B" ist ausgewählt aus der Gruppe: Cr, Mn, Fe, Bi, Cd, Co, Cu, Ni, Sn, Al, Ga, Sc, Ti, V, Nb, Ta, Mo, Pb, Hf, Zr, Tb, W, Gd, Yb, Bi, Mg, Cd und/oder Zn;

und

5 $0 \leq w \leq 0,5$; $0 \leq x \leq 0,5$; $0 < y \leq 0,5$; $0 \leq z \leq 0,5$ und $-1 \leq \delta \leq 1$;

(III) eine Mischung von wenigstens zwei verschiedenen Metallen M1 und M2 auf einem Träger, welcher ein mit einem Metall M3 dotiertes Oxid von Al, Ce und/oder Zr umfasst;

wobei hier gilt:

M1 und M2 sind unabhängig voneinander ausgewählt aus der Gruppe: Re, Ru, Rh, Ir, Os, Pd
10 und/oder Pt; und

M3 ist ausgewählt aus der Gruppe: Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb und/oder Lu;

(IV) ein Mischmetalloxid der Formel $LO_x(M_{(y/z)}Al_{(2-y/z)}O_3)_z$;

wobei hier gilt:

15 L ist ausgewählt aus der Gruppe: Na, K, Rb, Cs, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Y, Sn, Pb, Pd, Mn, In, Tl, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb und/oder Lu;

M ist ausgewählt aus der Gruppe: Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Mn, Re, Fe, Ru, Os, Co, Rh, Ir, Ni, Pd, Pt, Zn, Cu, Ag und/oder Au;

$1 < x \leq 2$;

20 $0 < y \leq 12$; und

$4 \leq z \leq 9$;

(V) ein Mischmetalloxid der Formel $LO(Al_2O_3)_z$;

wobei hier gilt:

L ist ausgewählt aus der Gruppe: Na, K, Rb, Cs, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Y, Sn, Pb, Mn, In, Tl, La, Ce,
25 Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb und/oder Lu; und

$4 \leq z \leq 9$;

(VI) ein oxidischer Katalysator, der Ni und Ru umfasst.

(VII) ein Metall M1 und/oder wenigstens zwei verschiedene Metalle M1 und M2 auf und/oder in einem Träger, wobei der Träger ein Carbid, Oxycarbid, Carbonitrid, Nitrid, Borid, Silicid,
5 Germanid und/oder Selenid der Metalle A und/oder B ist;

wobei hier gilt:

M1 und M2 sind unabhängig voneinander ausgewählt aus der Gruppe: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Re, Ru, Rh, Ir, Os, Pd, Pt, Zn, Cu, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, und/oder Lu;

A und B sind unabhängig voneinander ausgewählt aus der Gruppe: Be, Mg, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn,
10 Fe, Co, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, W, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, und/oder Lu;

(VIII) ein Katalysator umfassend Ni, Co, Fe, Cr, Mn, Zn, Al, Rh, Ru, Pt und/oder Pd;
und/oder

Reaktionsprodukte von (I), (II), (III), (IV), (V), (VI), (VII) und/oder (VIII) in Gegenwart von
15 Kohlendioxid, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und/oder Wasser bei einer Temperatur von ≥ 700 °C.

Der Begriff "Reaktionsprodukte" schließt die unter Reaktionsbedingungen vorliegenden Katalysatorphasen mit ein.

Bevorzugt sind für:

- (I) LaNiO_3 und/oder $\text{LaNi}_{0,7-0,9}\text{Fe}_{0,1-0,3}\text{O}_3$ (insbesondere $\text{LaNi}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_3$)
- 20 (II) $\text{LaNi}_{0,9-0,99}\text{Ru}_{0,01-0,1}\text{O}_3$ und/oder $\text{LaNi}_{0,9-0,99}\text{Rh}_{0,01-0,1}\text{O}_3$ (insbesondere $\text{LaNi}_{0,95}\text{Ru}_{0,05}\text{O}_3$ und/oder $\text{LaNi}_{0,95}\text{Rh}_{0,05}\text{O}_3$).
- (III) Pt-Rh auf Ce-Zr-Al-Oxid, Pt-Ru und/oder Rh-Ru auf Ce-Zr-Al-Oxid
- (IV) $\text{BaNiAl}_{11}\text{O}_{19}$, $\text{CaNiAl}_{11}\text{O}_{19}$, $\text{BaNi}_{0,975}\text{Ru}_{0,025}\text{Al}_{11}\text{O}_{19}$, $\text{BaNi}_{0,95}\text{Ru}_{0,05}\text{Al}_{11}\text{O}_{19}$,
 $\text{BaNi}_{0,92}\text{Ru}_{0,08}\text{Al}_{11}\text{O}_{19}$, $\text{BaNi}_{0,84}\text{Pt}_{0,16}\text{Al}_{11}\text{O}_{19}$ und/oder $\text{BaRu}_{0,05}\text{Al}_{11,95}\text{O}_{19}$
- 25 (V) $\text{BaAl}_{12}\text{O}_{19}$, $\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$ und/oder $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$
- (VI) Ni und Ru auf Ce-Zr-Al-Oxid, auf einem Oxid aus der Klasse der Perowskite und/oder auf einem Oxid aus der Klasse der Hexaaluminate

(VII) Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Re, Ru, Rh, Ir, Os, Pd, Pt, Zn, Cu, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, und/oder Lu auf Mo₂C und/oder WC.

Im erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt im bereitgestellten Reaktor ein elektrisches Beheizen wenigstens eines der Heizelemente 110, 111, 112, 113. Dieses kann, muss aber nicht zeitlich vor dem Durchströmen eines Reaktanden umfassenden Fluids durch den Strömungsreaktor unter
5 zumindest teilweiser Reaktion der Reaktanden des Fluids erfolgen.

Der Reaktor kann modular aufgebaut sein. Ein Modul kann beispielsweise eine Heizebene, eine Isolationsebene, die elektrische Kontaktierung und die entsprechenden weiteren Isolationmaterialien und Wärmedämmstoffe enthalten.

10 Wie bereits im Zusammenhang mit dem Reaktor erwähnt ist es vorteilhaft, wenn die einzelnen Heizelemente 110, 111, 112, 113 mit einer jeweils unterschiedlichen Heizleistung betrieben werden.

Hinsichtlich der Temperatur ist bevorzugt, dass die Reaktionstemperatur im Reaktor wenigstens stellenweise ≥ 700 °C bis ≤ 1300 °C beträgt. Mehr bevorzugte Bereiche sind ≥ 800 °C bis ≤ 1200
15 °C und ≥ 900 °C bis ≤ 1100 °C.

Die durchschnittliche (mittlere) Kontaktzeit des Fluids zu einem Heizelement 110, 111, 112, 113 kann beispielsweise $\geq 0,01$ Sekunden bis ≤ 1 Sekunde betragen und/oder die durchschnittliche Kontaktzeit des Fluids zu einer Zwischenebene 110, 111, 112, 113 kann beispielsweise $\geq 0,001$ Sekunden bis ≤ 5 Sekunden betragen. Bevorzugte Kontaktzeiten sind $\geq 0,005$ bis ≤ 1 Sekunden,
20 mehr bevorzugt $\geq 0,01$ bis $\leq 0,9$ Sekunden.

Die Reaktion kann bei einem Druck von ≥ 1 bar bis ≤ 200 bar durchgeführt werden. Vorzugsweise beträgt der Druck ≥ 2 bar bis ≤ 50 bar, mehr bevorzugt ≥ 10 bar bis ≤ 30 bar.

In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens stammt wenigstens ein Teil der im Strömungsreaktor reagierenden Fluide aus einem vorgelagerten Reforming-Prozess für
25 Kohlenwasserstoffe. Somit ist der hier beschriebene Reaktor als Nachreformer aufzufassen.

In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst dieses weiterhin den Schritt der Fischer-Tropsch-Synthese mit dem erhaltenen Synthesegas.

Solch ein Verbund mit dem Reaktor, in dem das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt wird, ist in FIG. 2 abgebildet.

In einer Betriebsphase, die durch hohen Bedarf an Syngas für die verstärkte FT-Produktion und/oder durch hohes Angebot an elektrischer Energie (z.B. durch Überproduktion von Wasserstoff im SMR Reformier und/oder durch hohen Anteil von C1-C4, Wasserstoff und/oder „tail gas“) gekennzeichnet ist, wird noch mehr Synthesegas im optimalen $H_2:CO$ Verhältnis mit Hilfe des energieintensiven Dry Reformings hergestellt. In den Phasen niedrigen Angebots an elektrischer Energie (Veränderung des Eduktstromes im SMR Reformier führt zur Reduktion des Wasserstoffs oder Erhöhung der Effizienz im FT-Prozess führt zu geringere C1-C4 Ausbeute) wird der Prozess der Syngasherstellung auf das weniger energieintensive RWGS umgestellt (durch die Zugabe des CO_2/H_2 -Gemisch). Im erfindungsgemäßen Verfahren kann die Erhöhung der Ausgangstemperatur für beide Reaktionen und im gleichen Reaktor durchgeführt, so dass kein Umschalten der Eduktströme auf separate Apparate erfolgen muss. Vielmehr besteht die Möglichkeit eines allmählichen Anfahrens der jeweils anderen Reaktion durch kontinuierliche Veränderung des Eduktstromes in SMR Reaktor und/oder (bevorzugt) Veränderung der Reaktionsbedingungen in Nachreaktor (Nachreformier). Im letzten Fall wird das Temperaturprofil bei dem Reaktoraustritt erhöht und/oder CO_2 (CO_2-H_2 -Gemisch) zugegeben. Es ist daher auch eine Mischform beider Reaktionen zulässig. Eine Zudosierung von Wasser ist in diesem Konzept ebenfalls möglich, so dass sich ein Betrieb als Dampfreformier (SMR, +206 kJ/mol) bzw. eine Mischform aus den drei obengenannten Reaktionen ergibt. Somit lässt sich der Grad der Endothermie beliebig einstellen und wird im Betrieb den energiewirtschaftlichen Randbedingungen angepasst

Das oben beschriebene Verfahren im Nachreformier (Nachreaktor) mit hohen Austrittstemperaturen und für den CO_2 Einsatz (als Teil des Eduktsstroms) für die synthetische Ölherstellung wird in einem elektrisch beheizbaren Reaktor durchgeführt, der für alle oben erwähnten Reaktion einsetzbar ist. Der oben beschriebene Reformier kann im Falle eines Ausfalles von SMR Reformier die Herstellung des Syngases teilweise oder auch vollständig übernehmen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht die Abtrennung / Gewinn des Wasserstoffs und Kohlenmooxides aus Synthesegas. Mindestens ein Teil des Syngases kann für die Fischer-Tropsch Synthese verwendet werden und ein Teil des Wasserstoffs, C1-C4 und/oder „tail gas“ kann für die Erzeugung elektrischer Energie durch die Verbrennung in Turbinen und deren Einsatz für die Beheizung des Nachreaktors (Nachreformiers) eingesetzt werden. Dabei wird mindestens ein Teil des synthetischen Öls mit mineralem Öl gemischt. Dabei kann mindestens ein Teil des synthetischen Öls als Diesel, Benzin und/oder Kerosin (Jet fuels) eingesetzt werden. Mindestens ein Teil des synthetischen Öls kann direkt für die weitere Verarbeitung / Separation verwendet werden.

Gleichfalls betrifft die vorliegende Erfindung eine Steuerungseinheit, welche für die Steuerung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet ist. Diese Steuerungseinheit kann auch auf mehrere

Module, welche miteinander kommunizieren, verteilt sein beziehungsweise diese Module dann umfassen. In der Steuerungseinheit kann sich ein flüchtiger und/oder nichtflüchtiger Speicher befinden, der maschinenausführbare Befehle im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren enthält. Insbesondere kann es sich dabei um maschinenausführbare Befehle zur

5 Erfassung der Schwellwerte, zum Vergleich der Schwellwerte mit den momentan herrschenden Bedingungen und zur Steuerung von Stellventilen und Verdichtern für gasförmige Reaktanden handeln.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Synthesegas, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen eines Strömungsreaktors, welcher zur Reaktion eines Reaktanden umfassenden Fluids eingerichtet ist,

5 wobei der Reaktor mindestens eine Heizebene (100, 101, 102, 103) umfasst, welche mittels eines oder mehrerer Heizelemente (110, 111, 112, 113) elektrisch beheizt wird,

wobei die Heizebene (100, 101, 102, 103) von dem Fluid durchströmbar ist und

wobei an mindestens einem Heizelement (110, 111, 112, 113) ein Katalysator angeordnet ist und dort beheizbar ist;

10 - Festlegen eines

Schwellwertes S1 für die Kosten der für den Strömungsreaktor zur Verfügung stehenden elektrischen Energie und/oder eines

Schwellwertes S2 für die dem Strömungsreaktor zur Verfügung stehenden Menge an elektrischer Energie und/oder eines

15 Schwellwertes S3 für eine benötigte Menge an im Reaktor zu produzierendem Synthesegas und/oder eines

Schwellwertes S4 für den Mengenanteil der zur Verfügung stehenden C1- bis C4-Kohlenwasserstoffe, welche zur Herstellung des Synthesegases im Strömungsreaktor herangezogen werden im Gegensatz zur Gewinnung elektrischer Energie durch
20 Verbrennung;

- Vergleichen

der Kosten der für den Strömungsreaktor zur Verfügung stehenden elektrischen Energie mit dem Schwellwert S1 und/oder

25 der dem Strömungsreaktor zur Verfügung stehenden Menge an elektrischer Energie mit dem Schwellwert S2 und/oder

der gegenwärtig im Strömungsreaktor produzierten Menge an Synthesegas mit dem Schwellwert S3 und/oder

des Mengenanteils der zur Verfügung stehenden C1- bis C4-Kohlenwasserstoffe, welche zur Herstellung des Synthesegases im Strömungsreaktor herangezogen werden, mit dem Schwellwert S4;

- 5 - Reaktion (A) von Kohlendioxid mit Kohlenwasserstoffen in dem Strömungsreaktor, wobei als Produkt mindestens Kohlenmonoxid gebildet wird, unter elektrischer Beheizung durch ein oder mehrere Heizelemente (110, 111, 112, 113), wenn wenigstens eines der Kriterien zutrifft:

der Schwellwert S1 wird unterschritten und/oder der Schwellwert S2 wird überschritten und/oder der Schwellwert S3 wird unterschritten und/oder der Schwellwert S4 wird überschritten;

- 10 - Reaktion (B) von Kohlendioxid mit Wasserstoff in dem Strömungsreaktor, wobei als Produkt mindestens Kohlenmonoxid gebildet wird, unter elektrischer Beheizung durch ein oder mehrere Heizelemente (110, 111, 112, 113), wenn wenigstens eines der Kriterien zutrifft:

- 15 der Schwellwert S1 wird überschritten und/oder und/oder der Schwellwert S2 wird unterschritten wird und/oder der Schwellwert S3 wird überschritten und/oder der Schwellwert S4 wird unterschritten;

wobei die Reaktionen (A) und (B) zu einem gegebenen Zeitpunkt in einem frei wählbaren Anteilsverhältnis zueinander durchgeführt werden.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei der Strömungsreaktor umfasst:

in Strömungsrichtung des Fluids gesehen eine Mehrzahl von Heizebenen (100, 101, 102, 103),

- 20 welche mittels Heizelementen (110, 111, 112, 113) elektrisch beheizt werden und

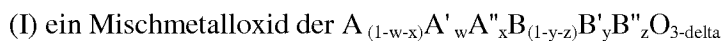
wobei die Heizebenen (100, 101, 102, 103) von dem Fluid durchströmbar sind,

wobei an mindestens einem Heizelement (100, 101, 102, 103) ein Katalysator angeordnet ist und dort beheizbar ist,

- 25 wobei weiterhin mindestens einmal eine keramische Zwischenebene (200, 201, 202) (die vorzugsweise von einem keramischen oder metallischen Traggerüst/-ebene getragen wird) zwischen zwei Heizebenen (100, 101, 102, 103) angeordnet ist und

wobei die Zwischenebene (200, 201, 202) ebenfalls von dem Fluid durchströmbar ist.

3. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei in den Heizebenen (100, 101, 102, 103) Heizelemente (110, 111, 112, 113) angeordnet sind, welche spiralförmig, mäanderförmig, gitterförmig und/oder netzförmig aufgebaut sind.
4. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei an zumindest einem Heizelement (110, 111, 112, 113) eine
5 von den übrigen Heizelementen (110, 111, 112, 113) verschiedene Menge und/oder Art des Katalysators vorliegt.
5. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei die Heizelemente (110, 111, 112, 113) so eingerichtet sind, dass sie jeweils unabhängig voneinander elektrisch beheizt werden können.
6. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei das Material des Inhalts (210, 211, 212) einer
10 Zwischenebene (200, 201, 202) Oxide, Carbide, Nitride, Phosphide und/oder Boride von Aluminium, Silizium und/oder Zirkonium umfasst.
7. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei die Zwischenebene (200, 201, 202) eine lose Schüttung von Festkörpern umfasst.
8. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei die Zwischenebene (200, 201, 202) einen einstückigen
15 porösen Festkörper umfasst.
9. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei die durchschnittliche Länge einer Heizebene (100, 101, 102, 103) in Strömungsrichtung des Fluids gesehen und die durchschnittliche Länge einer Zwischenebene (200, 201, 202) in Strömungsrichtung des Fluids gesehen in einem Verhältnis von $\geq 0,01:1$ bis $\leq 100:1$ zueinander stehen.
- 20 10. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei der Katalysator ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend:



wobei hier gilt:

A, A' und A'' sind unabhängig voneinander ausgewählt aus der Gruppe: Mg, Ca, Sr, Ba, Li, Na, K,
25 Rb, Cs, Sn, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Tl, Lu, Ni, Co, Pb, Bi und/oder Cd;

B, B' und B'' sind unabhängig voneinander ausgewählt aus der Gruppe: Cr, Mn, Fe, Bi, Cd, Co, Cu, Ni, Sn, Al, Ga, Sc, Ti, V, Nb, Ta, Mo, Pb, Hf, Zr, Tb, W, Gd, Yb, Mg, Li, Na, K, Ce und/oder Zn;
und

$0 \leq w \leq 0,5; 0 \leq x \leq 0,5; 0 \leq y \leq 0,5; 0 \leq z \leq 0,5$ und $-1 \leq \delta \leq 1$;

(II) ein Mischmetalloxid der Formel $A_{(1-w-x)}A'_wA''_xB_{(1-y-z)}B'_yB''_zO_{3-\delta}$

wobei hier gilt:

A, A' und A'' sind unabhängig voneinander ausgewählt aus der Gruppe: Mg, Ca, Sr, Ba, Li, Na, K,
5 Rb, Cs, Sn, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Tl, Lu, Ni, Co, Pb
und/oder Cd;

B ist ausgewählt aus der Gruppe: Cr, Mn, Fe, Bi, Cd, Co, Cu, Ni, Sn, Al, Ga, Sc, Ti, V, Nb, Ta,
Mo, Pb, Hf, Zr, Tb, W, Gd, Yb, Bi, Mg, Cd, Zn, Re, Ru, Rh, Pd, Os, Ir und/oder Pt;

B' ist ausgewählt aus der Gruppe: Re, Ru, Rh, Pd, Os, Ir und/oder Pt;

10 B'' ist ausgewählt aus der Gruppe: Cr, Mn, Fe, Bi, Cd, Co, Cu, Ni, Sn, Al, Ga, Sc, Ti, V, Nb, Ta,
Mo, Pb, Hf, Zr, Tb, W, Gd, Yb, Bi, Mg, Cd und/oder Zn;

und

$0 \leq w \leq 0,5; 0 \leq x \leq 0,5; 0 < y \leq 0,5; 0 \leq z \leq 0,5$ und $-1 \leq \delta \leq 1$;

(III) eine Mischung von wenigstens zwei verschiedenen Metallen M1 und M2 auf einem Träger,
15 welcher ein mit einem Metall M3 dotiertes Oxid von Al, Ce und/oder Zr umfasst;

wobei hier gilt:

M1 und M2 sind unabhängig voneinander ausgewählt aus der Gruppe: Re, Ru, Rh, Ir, Os, Pd
und/oder Pt; und

M3 ist ausgewählt aus der Gruppe: Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb
20 und/oder Lu;

(IV) ein Mischmetalloxid der Formel $LO_x(M_{(y/z)}Al_{(2-y/z)}O_3)_z$;

wobei hier gilt:

L ist ausgewählt aus der Gruppe: Na, K, Rb, Cs, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Y, Sn, Pb, Pd, Mn, In, Tl, La,
Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb und/oder Lu;

25 M ist ausgewählt aus der Gruppe: Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Mn, Re, Fe, Ru, Os, Co, Rh,
Ir, Ni, Pd, Pt, Zn, Cu, Ag und/oder Au;

$$1 < x \leq 2;$$

$$0 < y \leq 12; \text{ und}$$

$$4 \leq z \leq 9;$$

(V) ein Mischmetalloxid der Formel $LO(Al_2O_3)_z$;

5 wobei hier gilt:

L ist ausgewählt aus der Gruppe: Na, K, Rb, Cs, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Y, Sn, Pb, Mn, In, Tl, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb und/oder Lu; und

$$4 \leq z \leq 9;$$

(VI) ein oxidischer Katalysator, der Ni und Ru umfasst.

10 (VII) ein Metall M1 und/oder wenigstens zwei verschiedene Metalle M1 und M2 auf und/oder in einem Träger, wobei der Träger ein Carbid, Oxycarbid, Carbonitrid, Nitrid, Borid, Silicid, Germanid und/oder Selenid der Metalle A und/oder B ist;

wobei hier gilt:

M1 und M2 sind unabhängig voneinander ausgewählt aus der Gruppe: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Re, Ru,
15 Rh, Ir, Os, Pd, Pt, Zn, Cu, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, und/oder Lu;

A und B sind unabhängig voneinander ausgewählt aus der Gruppe: Be, Mg, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, W, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, und/oder Lu;

(VIII) ein Katalysator umfassend Ni, Co, Fe, Cr, Mn, Zn, Al, Rh, Ru, Pt und/oder Pd;

20 und/oder

Reaktionsprodukte von (I), (II), (III), (IV), (V), (VI), (VII) und/oder (VIII) in Gegenwart von Kohlendioxid, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und/oder Wasser bei einer Temperatur von ≥ 700 °C.

11. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei die einzelnen Heizelemente (110, 111, 112, 113) mit einer jeweils unterschiedlichen Heizleistung betrieben werden.

25 12. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei die Reaktionstemperatur im Reaktor wenigstens stellenweise ≥ 700 °C bis ≤ 1300 °C beträgt.

13. Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei die durchschnittliche Kontaktzeit des Fluids zu einem Heizelement (110, 111, 112, 113) $\geq 0,001$ Sekunden bis ≤ 1 Sekunde beträgt und/oder die durchschnittliche Kontaktzeit des Fluids zu einer Zwischenebene (110, 111, 112, 113) $\geq 0,001$ Sekunden bis ≤ 5 Sekunden beträgt.
- 5 14. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei wenigstens ein Teil der im Strömungsreaktor reagierenden Fluide aus einem vorgelagerten Reforming-Prozess für Kohlenwasserstoffe stammt.
15. Verfahren gemäß Anspruch 1, weiterhin umfassend den Schritt der Fischer-Tropsch-Synthese mit dem erhaltenen Synthesegas.

- 1/2 -

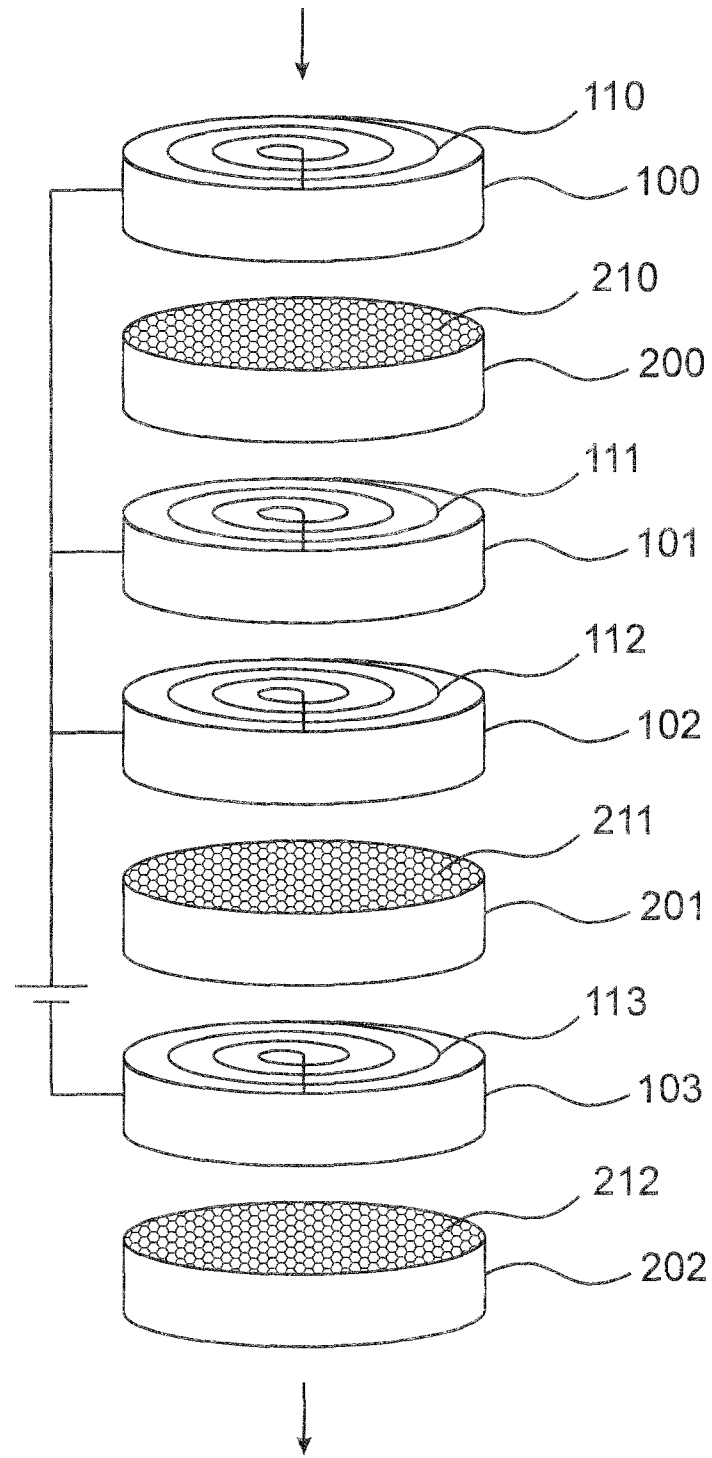


FIG. 1

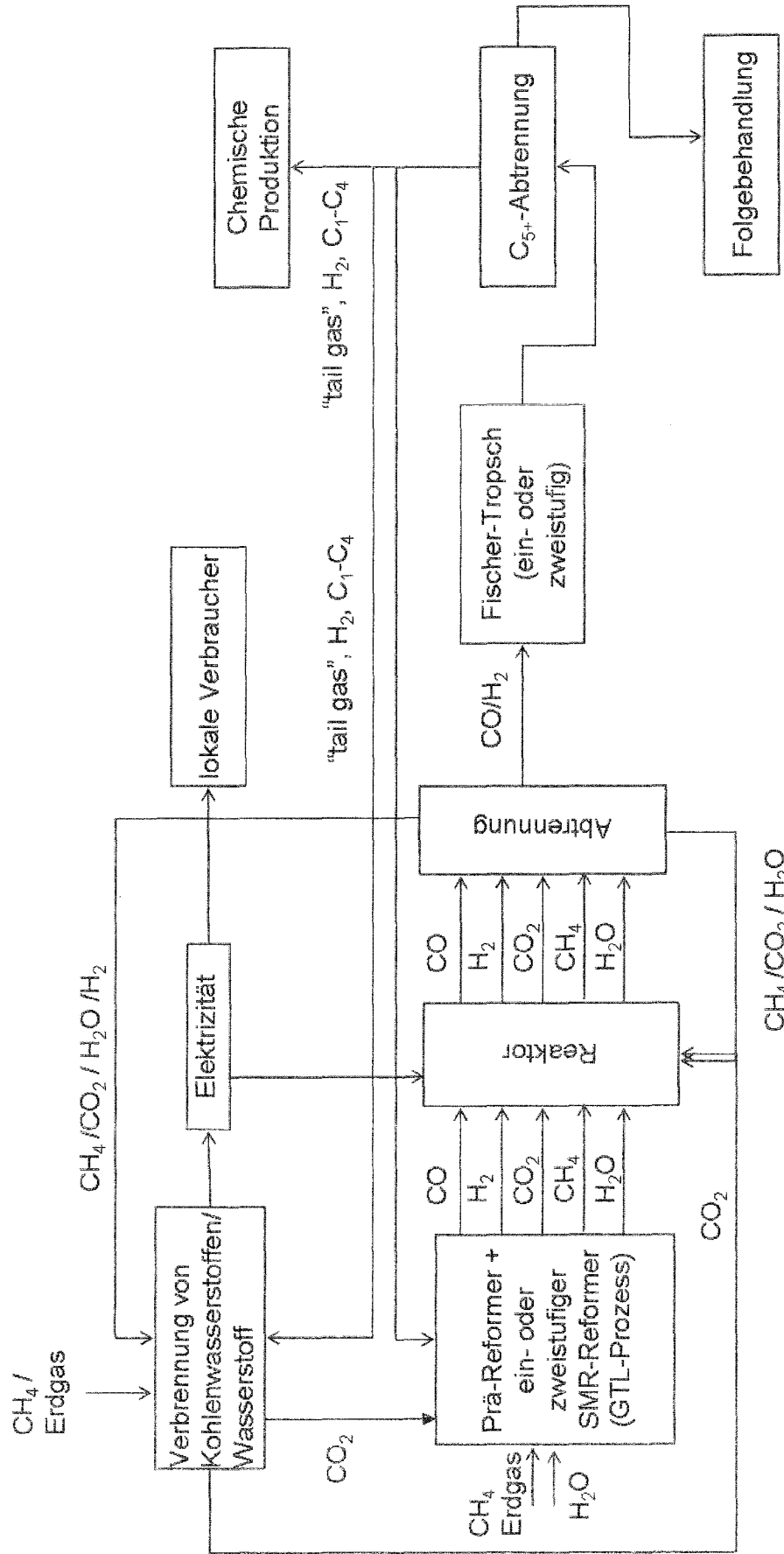


FIG. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/055005

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. C01B3/38 C10K3/02 B01J19/24 B01J23/00 C01B3/40
 C01B31/18
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 C01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 100 23 410 A1 (LINDE GAS AG [DE]) 15 November 2001 (2001-11-15)	1,12-15
Y	paragraphs [0015], [0019], [0021], [0022], [0024], [0028] - [0032], [0035]; claim 1; figure 1	2-9,11
X	WO 2009/065559 A1 (ENI SPA [IT]; BASINI LUCA [IT]; GUARINONI ALESSANDRA [IT]; LAINATI AND) 28 May 2009 (2009-05-28)	1,10,12, 14,15
Y	page 19, lines 4-8,18-22 page 20, line 23 - page 22, line 20 page 23, lines 17-21 page 24, lines 1-5 claims 1,10,15	2,4-9, 11,13
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
 8 July 2013

Date of mailing of the international search report
 17/07/2013

Name and mailing address of the ISA/
 European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer
 Galleiske, Anke

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/055005

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2007/042279 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]; DELPHI TECH INC [US]; RINGLER JUERGE) 19 April 2007 (2007-04-19) cited in the application page 5, lines 4-20 page 12, lines 17-23; figure 5 -----	2,3,6-9, 13
Y	US 2002/110507 A1 (GRIEVE MALCOLM JAMES [US] ET AL) 15 August 2002 (2002-08-15) paragraphs [0033], [0038], [0039]; figure 3 -----	2,6-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/055005

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10023410	A1	15-11-2001	NONE

WO 2009065559	A1	28-05-2009	CA 2705690 A1 28-05-2009
			EP 2238073 A1 13-10-2010
			RU 2010122321 A 27-12-2011
			US 2010294994 A1 25-11-2010
			US 2013028815 A1 31-01-2013
			WO 2009065559 A1 28-05-2009

WO 2007042279	A1	19-04-2007	EP 1937589 A1 02-07-2008
			US 2007084116 A1 19-04-2007
			WO 2007042279 A1 19-04-2007

US 2002110507	A1	15-08-2002	EP 1231184 A2 14-08-2002
			US 2002110507 A1 15-08-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2013/055005

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. C01B3/38 C10K3/02 B01J19/24 B01J23/00 C01B3/40
 C01B31/18
 ADD.
 Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTER GEBIETE
 Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 C01B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
 EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 100 23 410 A1 (LINDE GAS AG [DE]) 15. November 2001 (2001-11-15)	1,12-15
Y	Absätze [0015], [0019], [0021], [0022], [0024], [0028] - [0032], [0035]; Anspruch 1; Abbildung 1	2-9,11
X	WO 2009/065559 A1 (ENI SPA [IT]; BASINI LUCA [IT]; GUARINONI ALESSANDRA [IT]; LAINATI AND) 28. Mai 2009 (2009-05-28)	1,10,12, 14,15
Y	Seite 19, Zeilen 4-8,18-22 Seite 20, Zeile 23 - Seite 22, Zeile 20 Seite 23, Zeilen 17-21 Seite 24, Zeilen 1-5 Ansprüche 1,10,15	2,4-9, 11,13
	----- -/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
8. Juli 2013	17/07/2013

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Galleiske, Anke
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 2007/042279 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]; DELPHI TECH INC [US]; RINGLER JUERGE) 19. April 2007 (2007-04-19) in der Anmeldung erwähnt Seite 5, Zeilen 4-20 Seite 12, Zeilen 17-23; Abbildung 5 -----	2,3,6-9, 13
Y	US 2002/110507 A1 (GRIEVE MALCOLM JAMES [US] ET AL) 15. August 2002 (2002-08-15) Absätze [0033], [0038], [0039]; Abbildung 3 -----	2,6-9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/055005

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10023410	A1	15-11-2001	KEINE

WO 2009065559	A1	28-05-2009	CA 2705690 A1 28-05-2009
			EP 2238073 A1 13-10-2010
			RU 2010122321 A 27-12-2011
			US 2010294994 A1 25-11-2010
			US 2013028815 A1 31-01-2013
			WO 2009065559 A1 28-05-2009

WO 2007042279	A1	19-04-2007	EP 1937589 A1 02-07-2008
			US 2007084116 A1 19-04-2007
			WO 2007042279 A1 19-04-2007

US 2002110507	A1	15-08-2002	EP 1231184 A2 14-08-2002
			US 2002110507 A1 15-08-2002
