



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 60 2005 004 405 T2** 2009.01.02

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 756 249 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **60 2005 004 405.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB2005/050070**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **05 744 077.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2005/123883**

(86) PCT-Anmeldetag: **24.05.2005**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **29.12.2005**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **28.02.2007**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **16.01.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **02.01.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **C10G 2/00** (2006.01)

**B01J 8/02** (2006.01)

**B01J 8/04** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**0413400**      **16.06.2004**      **GB**

(73) Patentinhaber:

**CompactGTL plc, Abingdon, Oxfordshire, GB**

(74) Vertreter:

**Pürckhauer, R., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 57234  
Wilnsdorf**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IS, IT, LI, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO,  
SE, SI, SK, TR**

(72) Erfinder:

**BOWE, Michael Joseph, Preston, Lancashire PR4  
4JJ, GB**

(54) Bezeichnung: **KATALYSEANLAGE UND VERFAHREN ZUR DURCHFÜHRUNG DER FISCHER-TROPSCH-SYN-  
THESE**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein chemisches Verfahren und auf eine katalytische Reaktoranlage, die zur Ausführung des Verfahrens geeignet ist.

**[0002]** Ein Verfahren ist in PCT/GB 03/05198 (GTL Mikrosysteme AG) beschrieben, bei dem eine Fischer-Tropsch-Synthese in zwei aufeinander folgenden Stufen ausgeführt wird, wobei die beiden Stufen entweder innerhalb eines einzigen Reaktormoduls stattfinden, das unterschiedliche Anzahlen von Kanälen haben kann, oder alternativ gibt es verschiedene Anzahlen von Modulen für die beiden Stufen. Ein verbesserter Weg zur Ausführung dieses Verfahrens wurde nunmehr gefunden.

**[0003]** Erfindungsgemäß ist ein Verfahren vorgesehen zur Durchführung der Fischer-Tropsch-Synthese an einem Einspeisungsgas, das Kohlenmonoxid und Wasserstoff enthält, um ein Kohlenwasserstoffprodukt zu erzeugen, wobei eine Vielzahl von kompakten katalytischen Reaktormodulen verwendet wird, die je einen Stapel von Platten aufweisen, welche Strömungskanäle für die Fischer-Tropsch-Synthese bilden, in denen sich auswechselbare gasdurchlässige Katalysator-Strukturen befinden, sowie benachbarte Strömungskanäle für ein Wärmeübertragungsmedium, wobei die Fischer-Tropsch-Synthese in mindestens zwei aufeinander folgenden Stufen ausgeführt wird und jede Stufe in einer Vielzahl von Reaktormodulen durchgeführt wird, durch die Reaktionsmittel-Gasströme parallel verlaufen, und es gibt dort die gleiche Anzahl von Reaktormodulen für jede der aufeinander folgenden Stufen, wobei alle diese Reaktormodule identische Strömungskanäle bilden und in der ersten Stufe die Gas-Strömungsgeschwindigkeit genügend hoch und die Temperatur genügend niedrig ist, damit nicht mehr als 75% des Kohlenmonoxids sich einer Umformung unterziehen, wobei die Gase zwischen aufeinander folgenden Stufen gekühlt werden, um so Wasserdampf und etwas vom Kohlenwasserstoff-Produkt zu kondensieren, und dann die Gase der zweiten Stufe ausgesetzt werden.

**[0004]** Temperatur und Druck in der zweiten Stufe können von denen in der ersten Stufe abweichen, um akzeptable Pegel der Selektivität für C5+ und der CO-Umwandlung beizubehalten. Zum Beispiel kann der Druck in der zweiten Stufe als Folge von Druckverlusten geringer sein; dies würde die Selektivität vermindern, und daher kann die Temperatur in der zweiten Stufe im Vergleich zur ersten Stufe reduziert werden, um die gewünschte Selektivität zu erzielen. Das Verfahren kann daher auch eine Reduzierung des Drucks der Reaktionsgase zwischen aufeinander folgenden Stufen mit sich bringen, wobei die Reaktions-temperatur für die zweite Stufe geringer ist als für die erste Stufe. Das Verfahren kann so ausgeführt

werden, dass nicht mehr als 85% des verbleibenden Kohlenmonoxids sich einer Umwandlung während der zweiten Stufe unterzieht.

**[0005]** Vorzugsweise ist sowohl in der ersten Stufe als auch in der zweiten Stufe die Raumgeschwindigkeit oberhalb 1000/h, aber vorzugsweise nicht höher als 15000/h. Offensichtlich ist die Raumgeschwindigkeit in der zweiten Stufe geringer als die in der ersten Stufe, und zwar wegen der Umwandlung in Flüssigkeit während der ersten Stufe. Vorzugsweise wird der Reaktor so betrieben, dass der durch die Reaktion erzeugte Wasserdampf in jeder Stufe 26 Mol-% nicht überschreitet. Vorzugsweise unterziehen sich in der ersten Stufe nicht mehr als 65% des Kohlenmonoxids einer Umwandlung.

**[0006]** Die Raumgeschwindigkeit in dieser Beschreibung wird definiert als die Volumen-Strömungsrate des Gases, das dem Reaktor zugeführt wird (gemessen bei STP), dividiert durch das Lückenvolumen des Reaktors. Steht somit der Reaktor bei 210°C und einem Druck von 2,5 MPa, dann entspricht eine Raumgeschwindigkeit von 5000/hr einer Gasströmung (bei Betriebsbedingungen) von etwa 354 mal dem Lückenvolumen pro Stunde und somit einer Verweilzeit von etwa 10 s.

**[0007]** Die Erfindung sieht außerdem eine Anlage zur Durchführung einer Fischer-Tropsch-Synthese vor, wie im Anspruch 6 spezifiziert.

**[0008]** Der Kondensationsschritt zwischen aufeinander folgenden Stufen zielt darauf ab, die Gase auf eine Temperatur im Bereich von 40° bis 100°C zu kühlen, abhängig vom Kristallisationsbeginn bzw. Trübungspunkt des Kohlenwasserstoff-Produktes, um sich niederschlagendes Wachs auf den Wärmeübertragungsflächen zu vermeiden.

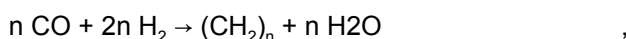
**[0009]** Vorzugsweise beträgt die Temperatur in den Synthesekanälen etwa 190°C bei jeder Stufe. Jedoch besteht bei Temperaturen von weniger als etwas 204°C eine größere Tendenz zur Bildung von Wachs (d. h. einem langkettigen Produkt), und dieses neigt dazu, an der Oberfläche des Katalysators zu haften, was eine Diffusion der Reagenzien zum Katalysator begrenzt und die Reaktionsrate verringert. Umgekehrt neigt die Reaktion bei Temperaturen oberhalb etwa 225°C dazu, ein kurzkettiges Produkt zu erzeugen und erzeugt somit einen höheren Anteil von Methan. Dieses Material niedrigen Molekulargewichtes auf der Katalysator-Oberfläche gestattet eine schnellere Diffusion von Reagenzien zur Oberfläche des Katalysators, und dies beschleunigt die Reaktionsgeschwindigkeit und erzeugt so mehr Wärme und noch höhere Temperaturen. Somit können die Temperaturen für aufeinander folgende Stufen unterschiedlich sein, sollten aber vorzugsweise im Bereich zwischen etwa 204°C und 225°C liegen, und noch bevorzugter

zwischen etwa 204°C und 210°C.

**[0010]** Die Erfindung wird nunmehr weiter und mehr im Einzelnen, und zwar beispielsweise mit Bezugnahme auf die zugehörige Zeichnung beschrieben.

**[0011]** [Fig. 1](#) zeigt ein Flussdiagramm einer Anlage zur Durchführung einer Fischer-Tropsch-Synthese.

**[0012]** Die Erfindung bezieht sich auf die Fischer-Tropsch-Synthese, die Teil eines Verfahrens zur Umwandlung von Methan in längerkettige Kohlenwasserstoffe bildet. Eine Fischer-Tropsch-Synthese ist eine Reaktion zwischen Kohlenmonoxid und Wasserstoff, und dieses Gasgemisch kann beispielsweise durch Dampf/Methan-Reformierung erzeugt werden. Bei der Fischer-Tropsch-Synthese reagieren die Gase, um einen längerkettigen Kohlenwasserstoff zu erzeugen, das heißt:



welches eine exothermische Reaktion ist, die bei einer erhöhten Temperatur, im typischen Fall zwischen 190°C und 350°C, z. B. 210°C, und einem erhöhten Druck, typischerweise zwischen 2 MPa und 4 MPa, z. B. 2,5 MPa, stattfindet, und zwar in Gegenwart eines Katalysators wie Eisen, Kobalt oder geschmolzenes Magnetit, mit einem Kalium-Promotor. Das genaue Wesen der durch die Reaktion gebildeten organischen Verbindungen hängt ab von der Temperatur, dem Druck und dem Katalysator, wie auch von dem Verhältnis von Kohlenmonoxid zu Wasserstoff.

**[0013]** Ein bevorzugter Katalysator weist eine Beschichtung aus lanthanstabilisiertem Gamma-Aluminiumoxid mit einem spezifischen Oberflächenbereich von 140–450 m<sup>2</sup>/g mit etwa 10–40% (Gewicht im Vergleich zum Gewicht von Aluminiumoxid) Kobalt und mit einem Ruthenium/Platin-Promotor auf, wobei der Promotor zwischen 0,01% bis 10% des Gewichtes des Kobalts liegt. Es kann auch ein Basizitätspromotor wie Gadoliniumoxid dabei sein. Die Aktivität und Selektivität des Katalysators hängt ab vom Grad der Dispersion von Kobaltmetall auf dem Träger, wobei der optimale Pegel von Kobalt-Dispersion im typischen Fall im Bereich 0,1 bis 0,2 liegt, so dass zwischen 10% und 20% der Kobaltmetallatome an der Oberfläche anwesend sind. Je größer der Grad von Dispersion ist, umso kleiner muss natürlich die Kobaltmetall-Kristallitgröße sein, und diese liegt typischerweise im Bereich von 5–15 nm. Kobaltpartikel von einer solchen Größe liefern einen hohen Pegel von katalytischer Aktivität, können aber in Gegenwart von Wasserdampf oxidiert werden und dies führt zu einer drastischen Reduzierung ihrer katalytischen Aktivität. Das Ausmaß dieser Oxidation hängt ab von den Anteilen von Wasserstoff und Wasserdampf in der Nähe zu den Katalysator-Partikeln und auch von deren Temperatur, wobei höhere Temperaturen und

höhere Anteile von Wasserdampf beide das Ausmaß der Oxidation erhöhen.

**[0014]** Der für die Verwendung in einer Fischer-Tropsch-Anlage geeignete Reaktormodul weist einen Stapel Platten auf, die Kühlkanäle bilden, welche sich mit Reaktionskanälen abwechseln, und gasdurchlässige Katalysator-Strukturen (wie gewellte Folie, Filz oder Maschenwerk) in den Reaktionskanälen. Die Platten können flach sein und die Kanäle durch Nuten gebildet werden; alternativ können einige der Platten gewellt oder zinnenförmig sein, um auf diese Weise Kanäle zu bilden. Die Platten sind aneinander gebunden, und zwar typischerweise durch Diffusionsbindung oder Hartlöten, und sind mit geeigneten Kopfstücken für die Reaktionsgase und das Kühlmittel versehen. Zum Beispiel gewellte Fecralloy-Folien, 50 µm dick, beschichtet mit einem Keramiküberzug, der mit einem katalytischen Material imprägniert ist, können dann in die Reaktionskanäle eingesetzt werden., bevor die Kopfstücke angebracht werden, und können ausgetauscht werden, wenn der Katalysator verbraucht ist. In einer praktischen Anlage ist es für alle Reaktormodule erwünscht, dass sie von gleicher Struktur und Größe sind, damit sie identisch sind. Ein Vorteil einer Normierung ist in der Tat, dass sie die Kapitalkosten der Anlage reduzieren können.

**[0015]** Gemäß [Fig. 1](#) empfängt eine Fischer-Tropsch-Anlage **10** eine Gasströmung aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, die über einen Kompressor **11** bei einem Druck von 2,1 MPa geliefert wird. Die Anlage weist zehn identische Reaktormodule auf: fünf Module **12a**, durch die hindurch die Strömungen parallel verlaufen, wobei diese die erste Stufe bilden, und weitere fünf Module **12b**, durch welche die Ströme parallel verlaufen und welche die zweite Stufe bilden. Ventile **14** ermöglichen es, die Ströme durch jeden Modul **12a** oder **12b** hindurch an- oder abzudrehen und die Module **12a** oder **12b** zu trennen.

**[0016]** Zwischen der ersten Stufe und der zweiten Stufe wird das Gasgemisch durch einen Wärmetauscher **16** hindurchgeleitet, der dazu eingerichtet ist, Wasserdampf und längerkettige Kohlenwasserstoffe zu kondensieren und somit aus den strömenden Gasen zu entfernen. Das gekühlte Gasgemisch wird dann durch einen Separator hindurchgeleitet, wie beispielsweise einen Zyklonseparator **18**, gefolgt von einer Trennkammer **19**, in der die drei Phasen Wasser, Kohlenwasserstoffe und unreaktierte Gase sich trennen. Die Gase werden zur zweiten Stufe der Anlage **10** weitergeleitet, und zwar durch ein Druckminderventil **20**, so dass der Reaktionsdruck in der zweiten Stufe reduziert werden kann, und zwar typischerweise auf einen Druck im Bereich von 1,6–2,0 MPa.

**[0017]** Die Reaktionstemperatur wird durch Liefe-

zung von Kühlmittel zu den Kühlkanälen innerhalb jedes Moduls **12** geregelt, wobei das Kühlmittel in jedem Fall durch einen jeweiligen Wärmetauscher **15** rückzirkuliert wird. Die Strömungsrate des Kühlmittels wird einreguliert, um sicherzustellen, dass sich die Kühlmitteltemperatur um nicht mehr als 10°C beim Durchgang durch das Modul **12** verändert. Die Reaktionstemperatur in der zweiten Stufe kann gesteuert werden, um geringer zu sein als diejenige in der ersten Stufe. Dies kann erreicht werden durch Verwendung unterschiedlicher Kühlmittelkreise **15** für jedes Modul **12a** oder **12b**, wie dargestellt. Alternativ kann das gleiche Kühlmittel aufeinanderfolgend über beide Stufen vorgesehen werden, hat aber seine Temperatur zwischen der einen Stufe und der nächsten vermindert. Vorzugsweise ist die Reaktionstemperatur in der zweiten Stufe etwa 5°C oder 10°C geringer als in der ersten Stufe.

**[0018]** Nach der zweiten Stufe wird die Gasströmung durch einen weiteren Wärmetauscher **16** hindurchgeleitet, der in der Lage ist, Wasserdampf und längerkettige Kohlenwasserstoffe zu kondensieren. Das kühle Gasgemisch wird dann durch einen Separator hindurchgeleitet, z. B. durch einen zweiten Zyklonseparator **18**, gefolgt von einer zweiten Trennkammer **19**, in der sich die drei Phasen Wasser, Kohlenwasserstoffe und unreaktierte Gase trennen. Die resultierenden Abgase sind typischerweise reich an Wasserstoff und können abgefackelt oder dazu verwendet werden, Brennstoff für einen katalytischen Verbrennungsprozess oder Brennstoff für eine Gasturbine (nicht dargestellt) zu liefern.

**[0019]** Bei Verwendung der Anlage **10** wird das Gemisch aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff den Erststufen-Reaktormodulen **12a** mit einem Druck von beispielsweise 2,1 Mpa zugeführt, wo eine Fischer-Tropsch-Synthese stattfindet. Das Kühlmittel fließt in paralleler Strömung durch die Kühlmittelkanäle in jedem Modul **12**, um die Temperatur innerhalb jedes Reaktormoduls **12a** auf einem Wert im Bereich zwischen 205° und 220°C zu halten, wobei die Temperatur um nicht mehr als +/-5°C auf der Länge des Reaktorkanals variiert. (In der Praxis kann das Kühlmittel einem Serpentinweg entlang einer Aufeinanderfolge von Querleitungen folgen, wobei der Serpentinweg sich einer Parallelströmung nähert.) Die Absicht besteht darin, sich isothermischen Bedingungen über den ganzen Reaktor **10** hinweg zu nähern; dies hat den Vorteil, die Gefahr zu mindern, dass Wachs (d. h. sehr langkettiger Kohlenwasserstoff) die Strömungskanäle zum Auslass aus den Reaktionskanälen hin blockiert. Die Strömungsrate (Raumgeschwindigkeit) der reagierenden Gase in den Reaktormodulen **12a** liegt im Bereich 4000–7000/hr, z. B. etwa 6500/hr, was sicherstellt, dass die Umwandlung von Kohlenmonoxid im Bereich von 35% bis 70% während der Zeit beträgt, wo die Gase die erste Stufe verlassen.

**[0020]** Wasserdampf (und etwas von den längerkettigen Kohlenwasserstoffen) kondensieren beim Durchgang durch den Wärmetauscher **16**, und jegliche Flüssigkeitströpfchen werden aus der Gasphase mittels Durchgang durch den Separator **18** und die Kammer **19** entfernt. Dies reduziert wesentlich den Partialdruck von Wasserdampf im Gasgemisch, das in die zweite Stufe strömt.

**[0021]** Die übrigen Gase können im Druck durch das Ventil **20** reduziert werden, bevor sie den Reaktormodulen **12b** der zweiten Stufe zugeführt werden. In den Modulen **12b** unterziehen sich die Gase erneut der Fischer-Tropsch-Synthese, aber die Kühlmitteltemperatur ist so eingerichtet, dass sie die Temperatur innerhalb jedes Moduls **12b** auf einem Wert hält, der wenige Grade, z. B. etwa 5 bis 10°C, unterhalb derjenigen in der ersten Stufe liegen kann. Es versteht sich, dass, weil ein wesentlicher Anteil der Gase beim Durchgang durch die Erststufen-Module **12a** Kohlenwasserstoffe wurden, unvermeidlich die Raumgeschwindigkeit in der zweiten Stufe geringer sein wird, typischerweise im Bereich von 2000–4000/hr. Trotzdem werden durch Herabsetzung des Drucks und Herabsetzung der Reaktionstemperatur in den Modulen **12b** (verglichen mit jenen der ersten Stufe) die Umwandlung von Kohlenmonoxid beim Durchgang durch die Module **12b** und die Selektivität zu C5<sup>+</sup> beibehalten, so dass die Gesamtumwandlung von CO über 85% (über die beiden Stufen) beträgt und die Gesamtselektivität zu C5<sup>+</sup> im Bereich von 75–95% gehalten wird. Zum Beispiel kann die Umwandlung in der ersten Stufe 40% sein, bei Erzeugung von etwa 11% Wasserdampf; und die Umwandlung in der zweiten Stufe kann 82% (des verbleibenden CO) sein, was etwa 25% Wasserdampf ergibt.

**[0022]** Die Wegnahme des Wasserdampfes und die Kohlenwasserstoffe mit niedrigerem Siedepunkt beim Durchgang durch den Separator **18** und die Kammer **19** vor Erreichen der Zweitstufen-Module **12b** vermindert nicht nur den Partialdruck des Wasserdampfes und unterdrückt so die Oxidation des Katalysators, sondern hat den weiteren Vorteil der Beseitigung von mindestens einigen jener Kohlenwasserstoffe, die eine flüssige Schicht auf der Katalysatorstruktur bilden würden. Jede derartige flüssige Schicht hemmt den Kontakt des Gasgemisches mit den Katalysatorpartikeln und hemmt eine Diffusion der Produkt-Kohlenwasserstoffe weg von den Katalysatorpartikeln, so dass die Beseitigung der Kohlenwasserstoff-Flüssigkeit diese diffusionsalen Widerstände auf ein Mindestmaß herabsetzt.

**[0023]** Wenn die Beschickungsgas-Strömungsrate abnimmt, können die Reaktionsbedingungen (das heißt die Raumgeschwindigkeit, Temperatur und Druck) im wesentlichen konstant gehalten werden in jeder der Stufen, und zwar durch Runterfahren der

gleichen Anzahl von Modulen **12a** und **12b** in jeder Stufe unter Verwendung der Ventile **14**. Die Anzahl von Erststufen-Reaktormodulen **12a**, die in Betrieb sind, sollte stets gleich der Anzahl der Zweitstufen-Reaktormodule sein, die in Betrieb sind. Somit kann die Anlage **10** in der Kapazität heruntergefahren werden auf 20% ihrer Nennkapazität, und zwar ohne irgendeine nennenswerte Änderung in den Betriebsbedingungen. Dies ermöglicht es, den Prozess zu ändern, um so Veränderungen in der Zufuhr von Erdgas über die Zeit zu ermöglichen, und zwar ohne Störung der Betriebsbedingungen innerhalb der Fischer-Tropsch-Module; denn solche Störungen können zur Katalysator-Beschädigung führen, da eine übermäßig niedrige Raumgeschwindigkeit zu einer Überumwandlung von CO und folglich zu einem hohen Wasserdampf-Partialdruck führt, und der Katalysator kann eine Oxidation oder eine nicht umkehrbare Reaktion mit dem Keramikträger bei Anwesenheit von Wasserdampf erleiden.

**[0024]** Es versteht sich, dass die Erfindung nicht auf ein Zweistufenverfahren beschränkt ist, da das Verfahren so arrangiert werden kann, dass es drei oder mehr Fischer-Tropsch-Reaktionsstufen vorsieht, und zwar mit einer entsprechenden erhöhten Anzahl von Zwischenstufen-Kühl- und -Trenneinheiten. Zum Beispiel könnten vier aufeinanderfolgende Stufen vorhanden sein, jede mit beispielsweise fünf Reaktormodulen **12**; weil drei oder mehr Stufen vorhanden sind, kann die Umwandlung in jeder einzelnen Stufe auf einen niedrigen Wert, wie beispielsweise 20%, begrenzt werden, während immer noch eine gute Gesamtumwandlung aus der Anlage erhalten wird. Dieser viel geringere Wert der Umwandlung reduziert ferner die Konzentration von Wasserdampf, dem der Katalysator ausgesetzt ist, und folglich kann ein aktiverer Katalysator verwendet werden (der für eine Beschädigung vom erhöhten Wasserdampfdruck her anfälliger ist), und eine höhere Raumgeschwindigkeit kann verwendet werden. Ferner kann der Druck zwischen aufeinander folgenden Stufen erhöht werden (eher als dass er, wie oben beschrieben, reduziert wird).

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Durchführung der Fischer-Tropsch-Synthese an einem Einspeisungsgas, das Kohlenmonoxid und Wasserstoff enthält, um ein Kohlenwasserstoffprodukt zu erzeugen, wobei eine Vielzahl von kompakten katalytischen Reaktormodulen verwendet wird, die je einen Stapel von Platten aufweisen, welche Strömungskanäle für die Fischer-Tropsch-Synthese bilden, in denen sich auswechselbare gasdurchlässige Katalysator-Strukturen befinden, sowie benachbarte Strömungskanäle für ein Wärmeübertragungsmedium, wobei die Fischer-Tropsch-Synthese in mindestens zwei aufeinander folgenden Stufen ausgeführt wird und jede Stu-

fe in einer Vielzahl von Reaktormodulen durchgeführt wird, durch die Reaktionsmittel-Gasströme parallel verlaufen, und die gleiche Anzahl von Reaktormodulen für jede der aufeinander folgenden Stufen vorhanden ist, wobei alle diese Reaktormodule identische Strömungskanäle bilden und in der ersten Stufe die Gas-Strömungsgeschwindigkeit genügend hoch und die Temperatur genügend niedrig ist, damit nicht mehr als 75% des Kohlenmonoxids sich einer Umformung unterzieht, wobei die Gase zwischen aufeinander folgenden Stufen gekühlt werden, um so Wasserdampf und etwas vom Kohlenwasserstoff-Produkt zu kondensieren, und dann der zweiten Stufe ausgesetzt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem sowohl die erste Stufe als auch die zweite Stufe bei Temperaturen im Bereich von 204°C bis 225°C stattfinden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem Wasserdampf 26 Mol-% nicht überschreitet.

4. Verfahren nach jedem der vorangehenden Ansprüche, bei dem zumindest in der ersten Stufe nicht mehr als 65% des Kohlenmonoxids sich einer Umwandlung unterziehen.

5. Verfahren nach jedem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Druckreduktion zwischen aufeinander folgenden Stufen zwischen 0,1 MPa und 0,5 MPa beträgt.

6. Anlage zur Durchführung einer Fischer-Tropsch-Synthese an einem Einspeisungsgas, das Kohlenmonoxid und Wasserstoff enthält, um ein Kohlenwasserstoffprodukt zu erzeugen, mit einer Vielzahl von kompakten katalytischen Reaktormodulen, die je einen Stapel von Platten aufweisen, welche Strömungskanäle für die Fischer-Tropsch-Synthese bilden, in denen sich auswechselbare gasdurchlässige Katalysatorstrukturen befinden, sowie mit benachbarten Strömungskanälen für ein Wärmeübertragungsmedium, wobei die Reaktormodule so angeordnet sind, dass die Fischer-Tropsch-Synthese in mindestens zwei aufeinander folgenden Stufen stattfindet, wobei eine Vielzahl dieser Reaktormodule für parallele Strömungen von Reaktionsmittelgasen für jede Stufe angeordnet ist, bei gleicher Anzahl von Reaktormodulen für jeder der aufeinander folgenden Stufen, wobei alle Reaktormodule identische Strömungskanäle bilden und die Anlage Mittel enthält, um die Reaktionsgase zwischen aufeinander folgenden Stufen zu kühlen, um so Wasserdampf und einiges vom Kohlenwasserstoffprodukt zu kondensieren.

7. Anlage nach Anspruch 6, bei der fünf Reaktormodule für jede Stufe vorhanden sind.

8. Anlage nach Anspruch 6 oder Anspruch 7, bei der jedes Reaktormodul mit Trennventilen ausgestattet

tet ist, wodurch die Anzahl von Reaktormodulen, die für die Reaktion in jeder Stufe verwendet werden, entsprechend der Einspeisungsgas-Strömungsgeschwindigkeit eingeregelt werden kann.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

