

19



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



11 Veröffentlichungsnummer: **0 533 231 A1**

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 92202531.7

51 Int. Cl.⁵: **C01B 3/38, C07C 29/151**

22 Anmeldetag: 18.08.92

30 Priorität: 14.09.91 DE 4130718

Reuterweg 14
W-6000 Frankfurt am Main(DE)

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.03.93 Patentblatt 93/12

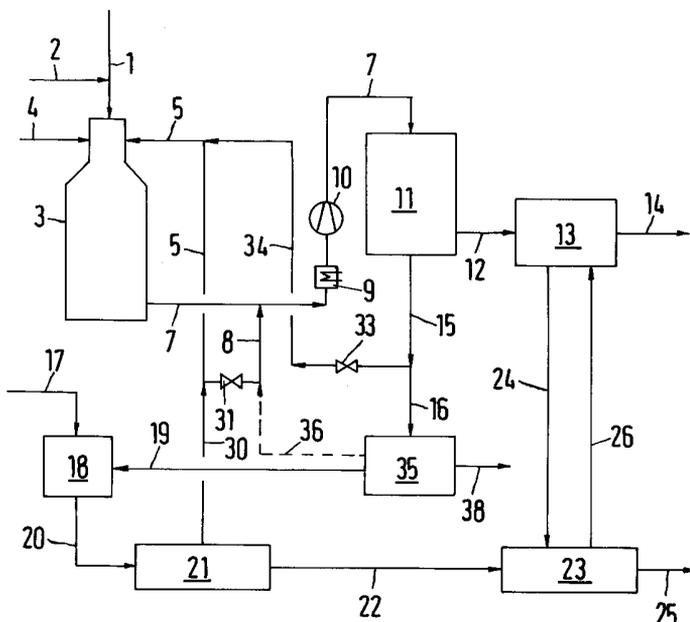
72 Erfinder: **Supp, Emil**
Marburger Strasse 7
W-6057 Dietzenbach(DE)
Erfinder: **Morgenroth, Rainer**
Alte Grenzstrasse 19 a
W-6382 Friedrichsdorf(DE)

84 Benannte Vertragsstaaten:
BE DE FR GB IT NL

71 Anmelder: **METALLGESELLSCHAFT**
Aktiengesellschaft

54 Verfahren zur Erzeugung eines Synthesegases für die Methanolsynthese.

57 Methanhaltiges Kohlenwasserstoffgas (1) wird mit Sauerstoff (4) und Wasserdampf (2) in einem Reformierreaktor (3) katalytisch autotherm bei Temperaturen am Reaktoraustritt von 800 bis 1300 °C und einem Druck von 10 bis 100 bar umgesetzt, wobei man in den Reformierreaktor zusätzlich ein wasserstoffreiches Gas (5) einleitet, das freien Wasserstoff enthält. Aus dem Reformierreaktor zieht man ein rohes Synthesegas (7) ab, dessen Komponenten vor allem Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid sind. Ohne aus dem rohen Synthesegas Kohlendioxid zu entfernen, wird ein für die Methanolsynthese geeignetes Synthesegas erzeugt, in welchem die Konzentrationen der Komponenten H₂, CO und CO₂ ein als Stöchiometriezahl bezeichnetes molares Verhältnis (H₂-CO₂):(CO+CO₂) von 1,97 bis 2,2 ergeben. Falls erforderlich, kann man dem aus dem Reformierreaktor kommenden rohen Synthesegas Wasserstoff (8) zum Einstellen der Stöchiometriezahl zumischen.



EP 0 533 231 A1

Die Erfindung betrifft ein verfahren zur Erzeugung eines Synthesegases für die Methanolsynthese und Umsetzen des Synthesegases an einem Katalysator zu einem methanolreichen Produktstrom, wobei man ein methanhaltiges Kohlenwasserstoffgas mit Sauerstoff und Wasserdampf in einem Reformierreaktor katalytisch autotherm bei Temperaturen am Reaktorausstritt von 800 bis 1300 °C und einem Druck von 10 bis 100 bar umsetzt und aus dem Reformierreaktor ein rohes Synthesegas abzieht, dessen Komponenten vor allem Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid sind.

Ein solches Verfahren ist im Europa-Patent 0 067 491 beschrieben. Einzelheiten zum katalytisch autotherm arbeitenden Reformierreaktor finden sich in Ullmanns Encyclopaedia of Industrial Chemistry, 5. Auflage, Band A12, Seiten 202-204. Über die ideale Zusammensetzung eines Methanolsynthesegases wird im selben Band auf den Seiten 173 und 174 informiert.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen möglichst kostengünstigen Weg zur Herstellung des für die Synthese geeigneten Methanolsynthesegases zu finden. Erfindungsgemäß gelingt dies beim eingangs genannten Verfahren dadurch, daß man in den Reformierreaktor zur katalytisch autothermen Umsetzung ein wasserstoffreiches Gas einleitet, das freien Wasserstoff enthält, und daß man ohne Entfernung von Kohlendioxid ein für die Methanolsynthese geeignetes Synthesegas erzeugt, in welchem die Konzentrationen der Komponenten H_2 , CO und CO_2 ein als Stöchiometriezahl bezeichnetes molares Verhältnis $(H_2-CO_2):(CO + CO_2)$ von 1,97 bis 2,2 ergeben.

Zur Berechnung der Stöchiometriezahl sind in die vorstehend genannte Gleichung die molaren Konzentrationen von Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid im Synthesegas einzusetzen, wie dies dem Fachmann bekannt ist.

Wenn eine genügend große Menge an wasserstoffreichem Gas zum Einleiten in den Reformierreaktor zur Verfügung steht, gelingt es, aus dem Reformierreaktor ein rohes Synthesegas abzuziehen, das bereits die passende Stöchiometriezahl aufweist und deshalb ohne weitere Behandlung der Methanolsynthese zugeführt werden kann. Sollte das rohe Synthesegas aber noch nicht die richtige Stöchiometriezahl besitzen, gibt man dem rohen Synthesegas so viel Wasserstoff zu, bis die gewünschte Stöchiometriezahl erreicht ist.

Bei der bekannten Methanolsynthese entsteht ein freien Wasserstoff und Kohlenoxide enthaltendes Restgas, das man aus der Synthese entfernen muß. Es ist zweckmäßig, dieses Restgas mindestens teilweise in den Reformierreaktor zu leiten. Andererseits kann man das Restgas aufarbeiten und daraus Wasserstoff teilweise abtrennen. Dieser Wasserstoff ist geeignet, dem aus den Reformierreaktor kommenden rohen Synthesegas zum Einstellen der Stöchiometriezahl zugemischt zu werden.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung lassen sich besonders kostengünstige Verfahrensweisen für die Erzeugung des Methanolsynthesegases dann finden, wenn aus einer anderen Anlage ein wasserstoffreiches Gas zur Verfügung steht, das man in den Reformierreaktor leiten kann. Beispielsweise fallen in technischen Anlagen zur Dehydrierung solche wasserstoffhaltigen Gase an, die in dieser Weise verwendbar sind.

Ein besonders günstiges Beispiel eines zweiten Verfahrens, das sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren koppeln läßt, ist die Herstellung von Methyl-Tertiär-Butylether (MTBE). Hierbei geht man üblicherweise von Butan aus, das man zu Isobutan isomerisiert, das Isobutan wird durch Dehydrierung zu Isobutylen umgewandelt und Isobutylen setzt man mit Methanol zu MTBE um. Das bei der Dehydrierung entstehende wasserstoffreiche Abgas wird mindestens teilweise in den Reformierreaktor eingeleitet. Hieraus ergibt sich eine besonders kostengünstige Verfahrenskopplung, weil man einerseits das wasserstoffreiche Abgas der Dehydrierung verwenden kann und weil andererseits Methanol aus der Methanolsynthese zum Umsetzen des Isobutylens zu MTBE zur Verfügung steht.

Für das Verfahren der Erfindung verwendet man ein methanhaltiges Kohlenwasserstoffgas, z.B. Erdgas oder Erdölbegleitgas. Ganz allgemein eignen sich Gasgemische mit C_1 - bis C_5 -Kohlenwasserstoffen. Das Kohlenwasserstoffgas wird in bekannter Weise vor dem Reformierreaktor entschwefelt, z.B. durch Leiten über Zinkoxid.

Dem Reformierreaktor wird so viel Sauerstoff zugeführt, daß durch partielle Oxidation die gewünschte Temperatur am Austritt des Reaktors erreicht wird. Diese Austrittstemperaturen liegen üblicherweise im Bereich von 800 bis 1300 °C und vorzugsweise 850 bis 1100 °C. Die Temperatur des in den Reformierreaktor eintretenden Gasgemisches beträgt vorzugsweise 300 bis 650 °C.

In an sich bekannter Weise wird dem Reformierreaktor auch Wasserdampf zugeführt, um die Rußbildung zu unterdrücken. Angestrebt wird, daß die sich am Ende des Reaktors einstellende Temperatur mehr als 100 °C über der Grenztemperatur für die Rußbildung nach der Boudouir-Reaktion ($2CO = C + CO_2$) liegt. Vorteilhafterweise kommt man beim Verfahren der Erfindung mit wenig Wasserdampf aus. Üblicherweise kommen auf ein C-Atom im Einsatzgemisch 1,2 bis 2,0 Moleküle H_2O , 0,4 bis 0,8 Moleküle O_2 und 0,2 bis 0,5 Moleküle H_2 . Im rohen Synthesegas liegt der Methangehalt bei unter 5 Mol-% und vorzugsweise unter 3

Mol-%.

Der dem Reformierreaktor zugeführte freie Wasserstoff beschleunigt zusammen mit dem Sauerstoff das Zünden im oberen Bereich des Reformierreaktors, so daß dort die Temperaturen in erwünschter Weise schnell ansteigen und ein zusätzlicher Zündkatalysator oder ein Hilfszündbrenner entbehrlich wird. Dadurch kann man im Bereich des Eintritts von Wasserstoff und Sauerstoff in den Reformierreaktor einen katalysatorfreien Raum vorsehen, der 10 bis 30 % des gesamten Katalysatorvolumens entspricht.

Weitere Einzelheiten der Erfindung werden mit Hilfe der Zeichnung erläutert.

Methanhaltiges Kohlenwasserstoffgas, z.B. Erdgas, wird in der Leitung (1) herangeführt, mit Wasserdampf aus der Leitung (2) gemischt und in einen Reformierreaktor (3) geleitet. Der Reaktor (3) enthält eine Schüttung eines körnigen Nickelkatalysators. Sauerstoff, z.B. aus einer nicht dargestellten Luftzerlegungsanlage, wird dem Reaktor (3) durch die Leitung (4) zugeführt und ein wasserstoffreiches Gas kommt aus der Leitung (5). Im Reaktor (3) herrscht ein Druck von 10 bis 100 bar und vorzugsweise 20 bis 50 bar. Als Produkt der katalytisch autothermen Umsetzung im Reformierreaktor (3) wird durch die Leitung (7) ein rohes Synthesegas abgezogen, das eine Temperatur von 800 bis 1300 °C und vorzugsweise 850 bis 1100 °C aufweist und höchstens 3 Mol-% Methan enthält. Die Konzentrationen der Hauptkomponenten Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid ergeben eine Stöchiometriezahl von höchstens 2,2.

Falls die Stöchiometriezahl des Synthesegases der Leitung (7) noch nicht im gewünschten Bereich von 1,97 bis 2,2 liegt und angehoben werden muß, erfolgt dies durch Zumischen eines wasserstoffreichen Gases, das aus der Leitung (8) kommt. Das fertige Synthesegas wird, ohne daß eine Behandlung zum Entfernen von CO₂ notwendig ist, nach Abkühlung in einer Kühleinrichtung (9) auf etwa Umgebungstemperatur durch den Verdichter (10) zur Methanolsynthese (11) geführt, die in an sich bekannter Weise ausgestaltet ist. Einen methanolreichen Produktstrom zieht man in der Leitung (12) ab und führt ihn zur Reinigung durch eine Destillation (13), aus der man das fertige Methanol in der Leitung (14) abführt.

Zur Erzeugung des wasserstoffreichen Gases, das in den Leitungen (5) und (8) zur Verfügung steht, gibt es zahlreiche Varianten, von denen hier nur einige dargestellt werden können. Butan kommt aus der Leitung (17) und wird in einer Isomerisierungsanlage (18) mit Wasserstoff aus der Leitung (19) zu Isobutan umgesetzt, das man in der Leitung (20) einer Dehydrierung (21) aufgibt. In der Dehydrierung wird Isobutylen erzeugt, das man in der Leitung (22) zu einer Umsetzung (23) mit Methanol aus der Leitung (24) zuführt. Man erzeugt dadurch MTBE, das in der Leitung (25) abgeführt wird. Wasserreiches Methanol, das in der Umsetzung (23) entsteht, wird durch die Leitung (26) der Destillation (13) aufgegeben.

In der Dehydrierung (21) entsteht ein wasserstoffreiches Abgas, das man in der Leitung (30) abführt und ganz oder teilweise durch die Leitung (5) in den Reformierreaktor (3) leitet. Einen Teil dieses Abgases kann man durch das Ventil (31) und die Leitung (8) dem rohen Synthesegas der Leitung (7) zumischen.

Aus der Methanolsynthese (11) muß ein Restgas in der Leitung (15) entfernt werden, das man auf verschiedene Weise verwenden kann. Eine Möglichkeit ist, es durch das Ventil (33) und die Leitung (34) dem Gas der Leitung (5) zuzumischen und es in den Reformierreaktor (3) zu leiten. Man kann es aber auch ganz oder teilweise durch die Leitung (16) einer Trennanlage (35) aufgeben, in der man ein wasserstoffreiches Gas gewinnt. Die Trennanlage (35) kann z.B. nach dem Prinzip der Druckwechseladsorption arbeiten. Das dabei gewonnene H₂-reiche Gas kann man einerseits in der Leitung (19) abziehen oder aber auch ganz oder teilweise durch die gestrichelte Leitung (36) führen und dem Gas der Leitung (8) zumischen. Ein methanhaltiges Gas wird in der Leitung (38) abgeführt.

Die Umwandlung von Butan zu MTBE ist an sich bekannt, Einzelheiten sind im deutschen Patent 753 753 und in Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, 3. Auflage, Band 10, Seiten 114-120 beschrieben.

Die nachfolgenden Beispiele, die teilweise berechnet sind, beziehen sich auf 1 Mol CH₄ als Kohlenwasserstoffgas.

Beispiel 1

Pro Mol CH₄ werden 0,28 Mol H₂, 1,6 Mol H₂O, 0,556 Mol O₂ und 0,0028 Mol N₂ in den Reformierreaktor (3) geleitet, der einen nickelhaltigen Katalysator enthält. Aus der autothermen Umsetzung bei einem Druck von 65 bar und einer Austrittstemperatur von 995 °C erhält man ein rohes Synthesegas mit folgender Zusammensetzung:

EP 0 533 231 A1

| | |
|-----------------|-------------|
| CO ₂ | 8,86 Mol-% |
| CO | 20,27 Mol-% |
| H ₂ | 67,81 Mol-% |
| CH ₄ | 2,97 Mol-% |
| N ₂ | 0,09 Mol-% |

Die Stöchiometriezahl dieses Synthesegases beträgt 2,024, d.h., daß das Synthesegas für die Methanolsynthese optimal geeignet ist.

Beispiel 2

Der katalytisch autothermen Umsetzung wie in Beispiel 1 werden nunmehr pro Mol CH₄ 1,65 Mol H₂O, 0,686 Mol O₂ und 0,0034 Mol N₂ zugeführt, dazu 0,75 Mol eines Abgases aus einer Dehydrierung. Dieses Abgas hat folgende Zusammensetzung:

| | |
|------------------|-------------|
| CO ₂ | 2,15 Mol-% |
| CO | 0,95 Mol-% |
| H ₂ | 67,90 Mol-% |
| CH ₄ | 7,15 Mol-% |
| C ₂ + | 9,05 Mol-% |
| N ₂ | 12,80 Mol-% |

Die Umsetzung im Reaktor (3) findet bei 65 bar statt, die Austrittstemperatur beträgt 985 °C. Das aus dem Reformierreaktor (3) kommende rohe Synthesegas hat folgende Zusammensetzung:

| | |
|-----------------|-------------|
| CO ₂ | 7,68 Mol-% |
| CO | 20,68 Mol-% |
| H ₂ | 65,80 Mol-% |
| CH ₄ | 3,36 Mol-% |
| N ₂ | 2,48 Mol-% |

Die Stöchiometriezahl beträgt 2,049. Das Synthesegas ist also direkt und ohne weitere Behandlung für die Methanolsynthese verwendbar.

Würde man auf das Abgas aus der Dehydrierung verzichten, so müßte man den H₂O-Zusatz auf 2,5 Mol erhöhen, um der Rußbildung im Reformierreaktor vorzubeugen. Dadurch würde aber die Stöchiometriezahl des rohen Synthesegases auf den zu niedrigen Wert von 1,775 absinken.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung eines Synthesegases für die Methanolsynthese und Umsetzen des Synthesegases an einem Katalysator zu einem methanolreichen Produktstrom, wobei man ein methanhaltiges Kohlenwasserstoffgas mit Sauerstoff und Wasserdampf in einem Reformierreaktor katalytisch autotherm bei Temperaturen am Reaktorausstritt von 800 bis 1300 °C und einem Druck von 10 bis 100 bar umsetzt und aus dem Reformierreaktor ein rohes Synthesegas abzieht, dessen Komponenten vor allem Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid sind, dadurch gekennzeichnet, daß man in den Reformierreaktor zur katalytisch autothermen Umsetzung ein wasserstoffreiches Gas einleitet, das freien Wasserstoff enthält, und daß man ohne Entfernung von Kohlendioxid ein für die Methanolsynthese geeignetes Synthesegas erzeugt, in welchem die Konzentrationen der Komponenten H₂, CO und CO₂ ein als Stöchiometriezahl bezeichnetes molares Verhältnis (H₂-CO₂):(CO + CO₂) von 1,97 bis 2,2 ergeben.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man dem aus dem Reformierreaktor kommenden rohen Synthesegas Wasserstoff zum Einstellen der Stöchiometriezahl zumischt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das aus dem Reformierreaktor abgezogene rohe Synthesegas eine Stöchiometriezahl von 1,97 bis 2,2 aufweist und ohne weitere Behandlung der Methanolsynthese zugeführt wird.
- 5 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß man dem Reformierreaktor pro C-Atom 1,2 bis 2,0 Moleküle H₂O zuführt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß man aus der Methanolsynthese ein freien Wasserstoff und Kohlenoxide enthaltendes Restgas abzieht und es mindestens
10 teilweise in den Reformierreaktor leitet.
6. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß man aus der Methanolsynthese ein freien Wasserstoff und Kohlenoxide enthaltendes Restgas abzieht, aus dem Restgas freien Wasserstoff teilweise abtrennt und den freien Wasserstoff dem aus dem Reformierreaktor kommenden rohen
15 Synthesegas zum Einstellen der Stöchiometriezahl zumischt.
7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß man ein freien Wasserstoff enthaltendes Abgas aus einer Dehydrierung in den Reformierreaktor leitet.
- 20 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß man Butan zu Isobutan isomerisiert, das Isobutan durch Dehydrierung zu Isobutylene umwandelt, Isobutylene mit Methanol zu Methyl-Tertiär-Butylether (MTBE) umsetzt und das bei der Dehydrierung entstehende wasserstoffreiche Abgas mindestens teilweise in den Reformierreaktor leitet.

25

30

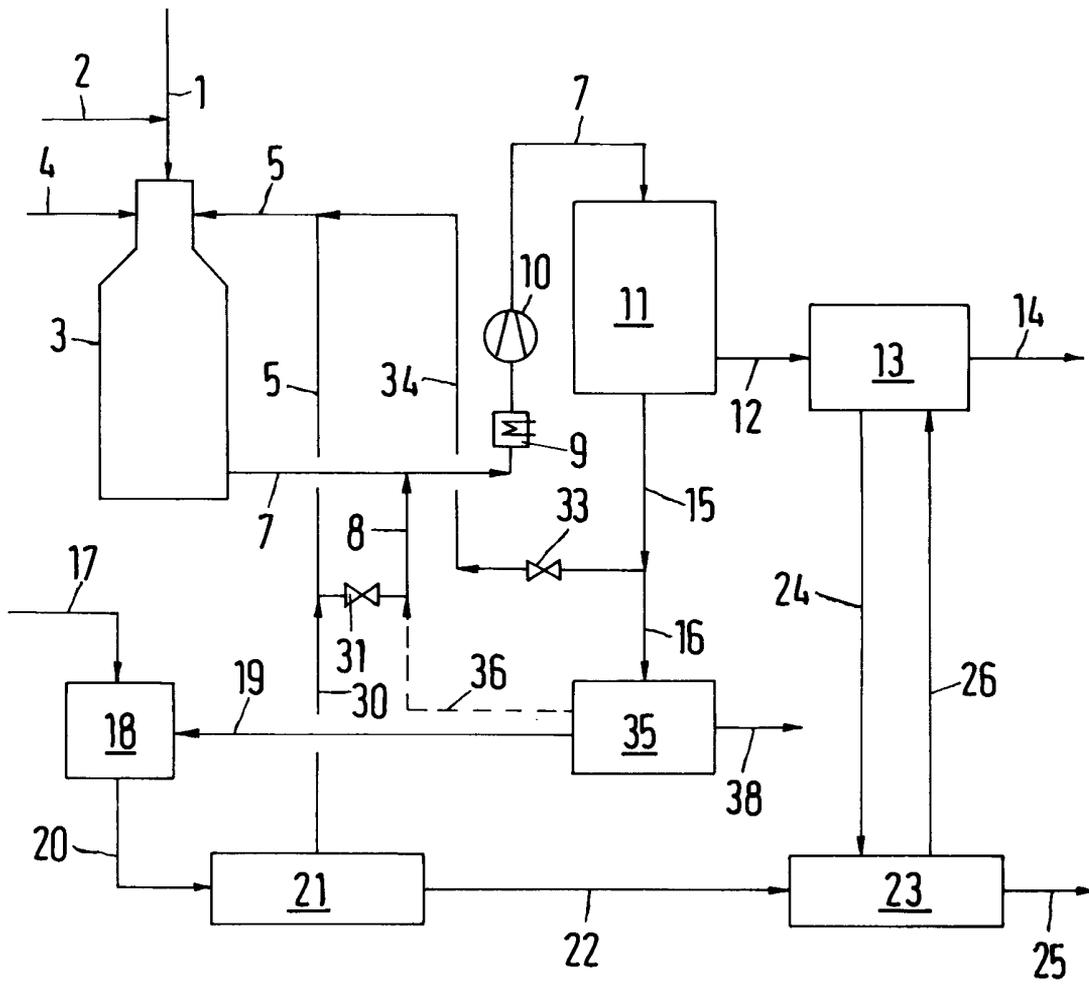
35

40

45

50

55





| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE | | | |
|--|---|--|--|
| Kategorie | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile | Betrifft Anspruch | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5) |
| X | EP-A-0 376 419 (NIPPON OIL CO. LTD.) * Spalte 2, Zeile 55 - Spalte 3, Zeile 29 * * Spalte 3, Zeile 47 - Spalte 4, Zeile 2 * * Spalte 4, Zeile 52 - Spalte 5, Zeile 15 * * Ansprüche 1,2,4; Beispiele 1,2,6 * --- | 1,3,4 | C01B3/38 C07C29/151 |
| D,A | EP-A-0 067 491 (STAMICARBON BV) * das ganze Dokument * --- | 1,4,5 | |
| A | EP-A-0 269 297 (THE BRITISH PETROLEUM COMPANY PLC) * Spalte 2, Zeile 26 - Zeile 38 * * Spalte 3, Zeile 26 - Spalte 4, Zeile 34 * * Ansprüche 1,2,7,10,11 * --- | 1-3 | |
| A | US-A-4 866 211 (F.M.BRINKMEYER ET AL.) * Spalte 1, Zeile 40 - Zeile 56 * * Spalte 4, Zeile 40 - Zeile 48 * * Anspruch 1 * --- | 8 | |
| D,A | DE-A-753 753 (I.G. FARBENINDUSTRIE A.G.) * Seite 2, Zeile 23 - Zeile 54 * * Beispiele 1,3 * ----- | 8 | C01B C07C |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt | | | |
| Recherchenort DEN HAAG | Abschlußdatum der Recherche 08 DEZEMBER 1992 | Prüfer VAN DER POEL W. | |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur | | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patendokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument | |