



(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2020/044309**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2019 004 296.3**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB2019/057347**
(86) PCT-Anmeldetag: **30.08.2019**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **05.03.2020**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **22.07.2021**

(51) Int Cl.: **B01J 29/04 (2006.01)**

B01J 29/06 (2006.01)
B01J 29/40 (2006.01)
B01J 29/44 (2006.01)
B01J 29/62 (2006.01)
B01J 37/30 (2006.01)
C10G 35/085 (2006.01)
C10G 35/06 (2006.01)
C07C 5/393 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
62/725,001 30.08.2018 US

(71) Anmelder:
**SABIC GLOBAL TECHNOLOGIES B.V., Bergen Op
Zoom, NL**

(74) Vertreter:
**Wallinger Ricker Schlotter Tostmann Patent-
und Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, 80331
München, DE**

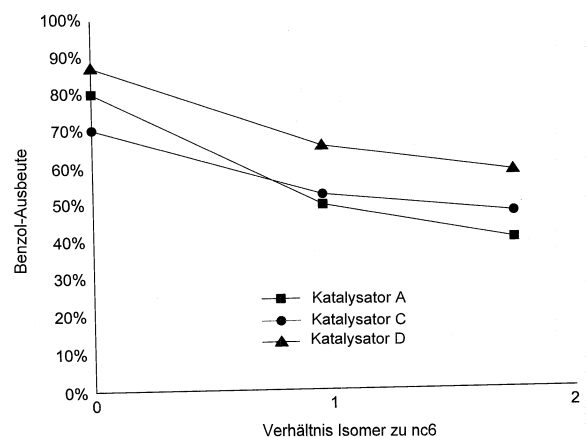
(72) Erfinder:
**Conant, Travis, Richmond, TX, US; Farmer,
Dustin, Houston, TX, US; Khanmamedova, Alla,
Sugar Land, TX, US; Kulkarni, Neeta, Houston,
TX, US; Stevenson, Scott, Houston, TX, US;
Wang, Jun, Sugar Land, TX, US**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **AROMATISIERUNGSKATALYSATOR MIT VERBESSERTER ISOMERISIERUNG,
HERSTELLUNGSVERFAHREN UND VERWENDUNG DAVON**

(57) Zusammenfassung: Offenbart ist ein Katalysator, der einen Zeolith umfasst, der ein Gerüst und ein Edelmetall umfasst, wobei das Gerüst Silicium und Aluminium umfasst. Der Zeolith wurde mindestens einem ersten Austausch mit einem Kation der Gruppe I oder II oder Ammonium unterzogen und wird danach mit einem zweiten Kation der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht. Der Schritt des Inkontaktbringens umfasst eine Austausch-, beginnende Nässe- oder Trockenimprägnierung. Das Edelmetall wird am Zeolithen abgeschieden.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Offenbarung bezieht sich allgemein auf das Verfahren zur Aromatisierung von Alkanen zu Aromaten und insbesondere auf die Verwendung eines Zeolithkatalysators für das Verfahren zur Aromatisierung von Alkanen zu Aromaten.

Stand der Technik

[0002] Die Aromatisierung von Alkanen ist ein mehrstufiger Prozess der Dehydrocyclisierung. Geeignete Katalysatoren für dieses Verfahren sind typischerweise multifunktional, um eine akzeptable Umwandlung und Selektivität für die gewünschten Produkte bereitzustellen. Zeolithe sind bekannte Katalysatoren für eine Reihe von Reaktionen, einschließlich Isomerisierung, Toluoldisproportionierung, Transalkylierung, Hydrierung und Alkanoligomerisierung sowie Aromatisierung.

[0003] Das hiermit durch Bezugnahme aufgenommene US-Patent 6,784,333 offenbart einen Katalysator eines Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolithen, auf dem Platin abgeschieden wurde. Der Katalysator kann bei der Aromatisierung von Alkanen verwendet werden, insbesondere bei der Aromatisierung von Niederalkanen wie Propan. Der Katalysator kann ein MFI-Zeolith sein, in den Germanium in das kristalline Gerüst eingebaut ist, d. h. Platin/Germanium-Zeolith Socony Mobil-5 Pt/Ge-ZSM-5. Der Katalysator kann vor oder während des Aromatisierungsprozesses sulfidiert werden.

[0004] Das US-Patent 8,722,950 offenbart Verfahren zur Herstellung von Alkenen (wie Propylen und Hexen) durch Metathese aus Butenen und Pentenen und anschließende Aromatisierung erzeugter Hexane. Der Metathesekatalysator kann Übergangsmetallverbindungen von Wolfram, Molybdän oder Rhenium umfassen. Die Aromatisierungskatalysatoren können Zeolithe mit einem abgeschiedenen Metall der Gruppe VIII wie Platin und andere Elemente als Silicium-Si und Aluminium-Al wie Germanium-Ge im Zeolith-Kristallgerüst umfassen.

[0005] US-Pat. Nr. 7,902,413 offenbart einen nichtsauren ZSM-5-Zeolithen mit Germanium, das in das Gerüst des Zeolithen eingebaut ist. Der Zeolith wird durch Austausch mit einem Alkalimetall oder Erdalkalimetall nichtsaure gemacht.

[0006] US-Pat. Veröffentlichung Nr. 2016/0288108 offenbart einen Katalysator, umfassend: einen Zeolith, der im Gerüst Si, Al und Ge mit darauf abgeschiedenem Pt umfasst, wobei der Katalysator ein Silicium:Aluminium-Si:Al₂-Molverhältnis von größer oder gleich 125, ein Si:Ge-Molverhältnis von 40 bis 400 und ein Natrium:Aluminium-Na:Al-Molverhältnis von 0,9 bis 2,5 aufweist, wobei der Katalysator einen Aluminiumgehalt von weniger als oder gleich 0,75 Gew.-% aufweist, wobei der Katalysator nichtsaure ist.

[0007] Herkömmliche Aromatisierungskatalysatoren und -technologien erfordern jedoch im Allgemeinen sechs lineare Kohlenstoffe, um Benzol und höhere Aromaten zu bilden. Dementsprechend kann die Umwandlung von Alkanbeschickungen, die verzweigte/nichtlineare Alkane umfassen, bestenfalls sehr gering oder vernachlässigbar sein. Beispielsweise ist die industrielle Umwandlung von Naphtha- oder Schiefergaskondensat-Beschickungen in aromatische Verbindungen aufgrund der beträchtlichen Menge an Isohexanen in den Beschickungen begrenzt. Mit anderen Worten kann die herkömmliche Katalysatorleistung durch die Menge an Isohexanen in der Beschickung begrenzt sein, da die Isohexane im Wesentlichen inert sind und sich nicht in Aromaten umwandeln. Wenn die Beschickung stärker verzweigt wird, kann die aromatische Gesamtausbeute abnehmen, wenn eine große Menge der Beschickung nicht umgesetzt wird. Während unter Isomerisierungskatalysatoren ein Säuregehalt erforderlich ist, um eine Skelettumlagerung zu erleichtern, kann ein Säuregehalt in Aromatisierungskatalysatoren zu unerwünschten Rissen führen.

[0008] Daher besteht ein Bedarf an Aromatisierungskatalysatoren mit Aktivität zur Skelettisomerisierung mit minimaler Crackaktivität.

Zusammenfassung

[0009] Aspekte der vorliegenden Offenbarung beziehen sich auf einen Katalysator. Der Katalysator kann einen Zeolith umfassen, der ein Gerüst und ein am Gerüst abgeschiedenes Edelmetall umfasst. Das Gerüst kann Silicium und Aluminium umfassen. Der Zeolith wurde mindestens einem ersten Austausch mit einem Kation der Gruppe I oder II oder Ammonium unterzogen und wird danach mit einem zweiten Kation der Gruppe

I oder II in Kontakt gebracht. Der Schritt des Inkontaktbringens umfasst eine Austausch-, beginnende Nässe- oder Trockenimprägnierung. Das Edelmetall kann nach dem Schritt des Inkontaktbringens am Zeolithen abgeschieden werden.

[0010] In weiteren Aspekten betrifft die vorliegende Offenbarung einen Katalysator, der einen Zeolith umfasst, der ein Gerüst und ein am Gerüst abgeschiedenes Edelmetall umfasst. Das Gerüst des Zeolithen kann Silicium und Aluminium umfassen. Der Zeolith kann ferner Cäsium- und Natriumionen umfassen.

[0011] Weitere Aspekte betreffen Verfahren zur Bildung des offenbarten Katalysators.

Figurenliste

[0012] Die oben erwähnten und andere Merkmale und Vorteile dieser Offenbarung und die Art und Weise, wie sie erreicht werden, werden unter Bezugnahme auf die folgende Beschreibung eines Aspekts der Offenbarung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen offensichtlich und besser verständlich, wobei:

Fig. 1 die Benzolausbeute für die Katalysatoren A, C und D bei variierenden Verhältnissen von Isomer zu normalem Hexan (nc6) zeigt.

Fig. 2 die Raum-Zeit-Ausbeute für Tonnen Benzol pro Tonne Katalysator für die Katalysatoren A, C und D zeigt.

Detaillierte Beschreibung

[0013] Die vorliegende Offenbarung kann unter Bezugnahme auf die folgende detaillierte Beschreibung der Offenbarung und der darin enthaltenen Beispiele leichter verstanden werden. Es versteht sich auch, dass die hier verwendete Terminologie nur zum Zweck der Beschreibung bestimmter Aspekte dient und nicht einschränkend sein soll.

[0014] Verschiedene Kombinationen von Elementen dieser Offenbarung umfassen diese Offenbarung, d. h. Kombinationen von Elementen aus abhängigen Ansprüchen, die von demselben unabhängigen Anspruch abhängen.

[0015] Darüber hinaus versteht es sich, dass, sofern nicht ausdrücklich anders angegeben, keinesfalls beabsichtigt ist, dass ein hierin dargelegtes Verfahren so ausgelegt werden muss, dass seine Schritte in einer bestimmten Reihenfolge ausgeführt werden müssen. Dementsprechend ist es keinesfalls beabsichtigt, dass in irgendeiner Hinsicht eine Reihenfolge entnommen werden soll, wenn ein Verfahrensanspruch nicht tatsächlich eine Reihenfolge aufführt, der seine Schritte folgen sollen, oder in den Ansprüchen oder Beschreibungen nicht ausdrücklich anders angegeben ist, dass die Schritte auf eine bestimmte Reihenfolge beschränkt werden sollen. Dies gilt für jede mögliche nicht ausdrückliche Grundlage für die Auslegung, einschließlich: Fragen der Logik in Bezug auf die Anordnung von Schritten oder den Betriebsablauf; einfache Bedeutung, abgeleitet aus grammatikalischer Organisation oder Interpunktion; und die Anzahl oder Art der in der Beschreibung beschriebenen Aspekte.

[0016] Die Alkanaromatisierung ist ein mehrstufiges Verfahren, das üblicherweise multifunktionelle Katalysatoren wie katalytische Systeme auf Zeolithbasis oder Katalysatoren umfasst, die ein auf einen Zeolith geladenes Hydrierungsmetall umfassen. Herkömmliche Aromatisierungskatalysatoren und -technologien erfordern jedoch im Allgemeinen sechs lineare Kohlenstoffe, um Benzol und höhere Aromaten zu bilden. Infolgedessen kann die Ausbeute für die Umwandlung von Alkanbeschickungen mit verzweigten/nichtlinearen Alkanen vernachlässigbar sein. Beispielsweise ist eine Naphtha- oder Schiefergaskondensatbeschickung mit beträchtlichen Mengen an Isohexanen in ihrer Benzolausbeute durch die Menge an Isohexanen in der Beschickung begrenzt. Wenn die Beschickung stärker verzweigt wird, kann die aromatische Gesamtausbeute abnehmen, wenn eine große Menge der Beschickung nicht umgesetzt wird. Um dies zu mildern, können herkömmliche Katalysatoren mit Säure die Skelettisomerisierung erleichtern. Es ist jedoch auch bekannt, dass der saure Katalysator für die Aromatisierung dazu führt, dass die Beschickung in kleinere Kohlenwasserstoffe zerfällt („Cracken“). Die vorliegende Offenbarung stellt Aromatisierungskatalysatoren bereit, die eine Aktivität für die Skelettisomerisierung aufweisen, sowie den Prozess der Umwandlung einer Beschickung, die sowohl verzweigte als auch lineare C₆⁺-Kohlenwasserstoffe enthält, in Benzol und höhere Aromaten. Wie hierin bereitgestellt, können die offenbarten Katalysatoren durch Umwandlung von Isohexan in n-Hexan in situ und anschließende Umwandlung von n-Hexan in Benzol funktionieren, wodurch die Gesamtaromatisierungsausbeute erhöht wird.

[0017] In verschiedenen Aspekten stellt die vorliegende Offenbarung einen Katalysator bereit, der von einem Zeolithen abgeleitet ist, der ein Gerüst aus Silicium, Aluminium umfasst und ein Edelmetall umfasst, wobei der Zeolith einem ersten Austausch mit einem ersten Kation der Gruppe I oder II oder einem Ammoniumion unterzogen wird und danach mit einem zweiten Kation der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht wird. Das erste und das zweite Kation der Gruppe I oder II können dieselben oder unterschiedliche Elemente sein. Der Schritt des Inkontaktbringens kann eine Austausch-, beginnende Nässe- oder Trockenimprägnierung umfassen.

[0018] Der offenbarte Katalysator umfasst Platin auf einem Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith (GeZSM-5), der mit Alkalimetallen behandelt wurde. In verschiedenen Aspekten der vorliegenden Offenbarung wird ein Katalysator von GeZSM-5 mindestens einem ersten Austausch mit einem Alkalimetall (oder einem Erdalkalimetall) oder einem Ammoniumion und einem oder mehreren Kalzinierungsprozessen unterzogen. Am Zeolith kann sich ein Edelmetall ablagern. In weiteren Aspekten wird der GeZSM-5-Zeolith einem ersten Ionenaustausch und einem zweiten Ionenaustausch unterzogen. Die offenbarten Katalysatoren eignen sich zur Umwandlung von C_{6+} , beispielsweise C_6 - C_{12} -Alkanen in Aromaten. Die Mengen und Verfahren zur Modifizierung des GeZSM-5 mit den Alkalimetallen ermöglichen die Einstellung der Isomerisierungsaktivität.

[0019] Der offenbarte Katalysator kann mit einem GeZSM-5 beginnen und kann mit Kationen modifiziert werden, um die Isomerisierungsaktivität abzustimmen, während gleichzeitig unerwünschtes Cracken der Kohlenwasserstoffbeschickung minimiert wird. Herkömmliche Katalysatoren, wie der in US-Pat. Nr. 7,901,413 beschriebene Katalysator, kann eine erhöhte Selektivität für Benzol und höhere Aromaten aus einer C_{6+} -Beschickung erreichen, wobei der Katalysator, wenn er vollständig mit Alkalimetallen basenausgetauscht ist, eine vernachlässigbare Isomerisierungsaktivität aufweisen kann (wie beispielsweise 4-%-Umwandlung). Durch einen absichtlichen Austausch eines Alkalimetalls oder von Gemischen von Alkalimetallen erhöhen die offenbarten Katalysatoren die Isomerisierungsumwandlung dramatisch, während die hohe Selektivität (d. h. geringe Crackaktivität) der herkömmlichen Aromatisierungskatalysatoren bei Werten von mehr als 90 % gehalten wird.

[0020] Die offenbarten Katalysatoren können für einen breiteren Bereich von Beschickungen als herkömmliche Optionen nützlich sein, da sie einen wesentlichen Teil des Isohexans innerhalb der Beschickung in n-Hexan und anschließend in Benzol umwandeln können, wo das Isohexan bei Verwendung eines herkömmlichen Katalysators nicht umgewandelt wird. Da die Skelettisomerisierung von Hexanen durch das Gleichgewicht begrenzt sein kann, ist darüber hinaus die Menge an n-Hexan, die hergestellt werden kann, typischerweise auch begrenzt, wenn eine Isomerisierung in einer separaten Einheit durchgeführt wird. Die offenbarten Katalysatoren machen eine separate Einheit zur Isomerisierung überflüssig, indem sie die Isomerisierung und Aromatisierung in einem gemeinsamen Reaktor erleichtern, wodurch eine Senke für n-Hexan erhalten wird. Mit anderen Worten, wenn n-Hexan durch Isomerisierung gebildet wird, wird es aromatisiert, wodurch Gleichgewichtsgrenzen durch Verbrauch von n-Hexan überwunden werden.

[0021] Katalysatoren der vorliegenden Offenbarung können von einem Zeolithen abgeleitet sein. Kristalline Silikate, Aluminosilikate, Aluminophosphate und Silicoaluminophosphate haben gleichmäßige Poren, durch die Moleküle diffundieren können. Aluminosilikate umfassen Zeolithe. Beispiele für Zeolithe sind MFI (ZSM-5), BEA (Beta), MWW (MCM-22), MOR (Mordenit), LTL (Zeolith L), MTT (ZSM-23), MTW (ZSM-12), TON (ZSM-22) und MEL (ZSM-11). Kristalline Silikate, Aluminosilikate, Aluminiumphosphate und Silicoaluminophosphate weisen Strukturen auf, die aus TO_4 -Tetraedern bestehen, die ein dreidimensionales Netzwerk bilden, indem sie Sauerstoffatome teilen, wobei T vierwertige Elemente wie Silicium; dreiwertige Elemente wie Aluminium; und fünfwertige Elemente wie Phosphor darstellt. „Zeolithe“ können Aluminosilikate mit offenen, dreidimensionalen Gerüststrukturen umfassen, die aus TO_4 -Tetraedern mit gemeinsamer Ecke bestehen, wobei T Al oder Si ist, aber auch vierwertige, dreiwertige und zweiwertige T-Atome enthalten, die Si und Al im Gerüst isoelektronisch ersetzen können, z. B. Germanium (4^+), Titan (4^+), Bor (3^+), Gallium (3^+), Eisen (3^+), Zink (2^+) und Beryllium (2^+). „Zeolith“ ist in erster Linie eine Beschreibung der Struktur, nicht der Zusammensetzung. Das kristalline Gerüst, zu dem diese Elemente aus Gruppe IV, Gruppe V, Gruppe XIII, Gruppe XIV, Gruppe XV und die Übergangsmetalle der ersten Reihe gehören und auf dem Metalle, die aus Gruppe VI, Gruppe VII, Gruppe VIII, Gruppe XIV und Gruppe X ausgewählt sind, abgeschieden werden, muss nicht auf einen Zeolith beschränkt sein, sondern kann jedes mikroporöse Silikat, Aluminosilicat, Aluminophosphat oder Silicoaluminophosphat sein. In einem Beispiel umfasst der Katalysator Germanium in einem Aluminosilikatgerüst (einem Ge-Zeolith).

[0022] In verschiedenen Aspekten umfasst das Zeolithgerüst ein Metalloid. In einem Beispiel umfasst das Metalloid Germanium. Neben Germanium können andere Elemente im kristallinen Gerüst vorhanden sein, die mit Platin oder anderen abgeschiedenen Metallen assoziieren. Elemente im kristallinen Gerüst können ausgewählt werden aus Gruppe IV, Gruppe V, Gruppe XIII, Gruppe XIV, Gruppe XV und den Übergangsmetallen der ersten Reihe des Periodensystems der Elemente. Beispiele für diese Elemente sind Germanium, Bor, Gallium,

Indium, Zinn, Titan, Zirkonium, Vanadium, Chrom, Eisen, Niob und Phosphor. Ein oder mehrere Elemente können sich im kristallinen Gerüst befinden. In weiteren Aspekten ist das Metalloid optional. Geeignete Elemente der Gruppe III umfassen Bor B, Aluminium Al und Gallium Ga usw., die zur Gruppe III gehören, während geeignete Elemente der Gruppe IV Kohlenstoff C, Silicium Si, Germanium Ge und Zinn Sn umfassen.

[0023] Der Metalloid-, beispielsweise Germaniumgehalt des Zeolithgerüsts kann ungefähr 0,2 bis ungefähr 10 Gew.-% betragen. Beispielsweise kann der Germaniumgehalt des Zeolithen 2 bis 8 Gew.-% oder 2 bis 6 Gew.-% des Zeolithen betragen.

[0024] Ein Ge-Zeolith der vorliegenden Offenbarung kann aus einem wässrigen Gel synthetisiert werden, das eine Siliciumdioxidquelle, eine Germaniumquelle, eine Aluminiumquelle und ein strukturdirigierendes Mittel enthält. Eine Technik zum Synthetisieren von Ge-Zeolithen kann das Umwandeln eines wässrigen Gels einer Siliciumdioxidquelle, einer Germaniumquelle und einer Aluminiumquelle in Zeolithkristalle durch einen hydrothermalen Prozess unter Verwendung eines Auflösungs- oder Rekristallisationsmechanismus umfassen. Das Reaktionsmedium kann auch Strukturierungsmittel enthalten, die während der Kristallisation in den mikroporösen Raum des Zeolithnetzwerks eingebaut werden, wodurch der Aufbau des Netzwerks gesteuert und die Stabilisierung der Struktur durch die Wechselwirkungen mit den Zeolithkomponenten unterstützt wird. Das Reaktionsgemischgel kann erhitzt und gerührt werden, um Zeolithkristalle zu bilden, und es kann dann abgekühlt werden. Die Zeolithkristalle können vom Gel getrennt und gewaschen, getrocknet und kalziniert werden.

[0025] Silikate, Aluminosilikate, Aluminiumphosphate und Silicoaluminophosphate kristallisieren im Allgemeinen aus einer wässrigen Lösung. Eine typische Technik zum Synthetisieren von Silikaten, Aluminosilikaten, Aluminiumphosphaten oder Silicoaluminophosphaten umfasst das Umwandeln eines wässrigen Gels einer Siliciumdioxidquelle, einer Aluminiumquelle und einer Phosphorquelle nach Bedarf in Kristalle durch einen hydrothermalen Prozess unter Verwendung eines Auflösungs-/Rekristallisationsmechanismus. Das Reaktionsmedium kann auch ein organisches strukturdirigierendes Mittel enthalten, das während der Kristallisation in den mikroporösen Raum des kristallinen Netzwerks eingebaut wird, wodurch der Aufbau des Netzwerks gesteuert und die Stabilisierung der Struktur durch die Wechselwirkungen mit den Silicium-, Aluminium- oder Phosphorkomponenten unterstützt wird.

[0026] Das wässrige Gel enthält zusätzlich zu der Siliciumdioxidquelle, die Aluminiumquelle, die Phosphorquelle, falls erforderlich, und das optionale organische strukturdirigierende Mittel sowie eine Quelle von mindestens einem anderen Element aus Gruppe IV, Gruppe V, Gruppe XIII, Gruppe XIV, Gruppe XV oder die Übergangsmetalle der ersten Reihe, die in das Gerüst des Silikats, Aluminosilicats, Aluminophosphats oder Silicoaluminophosphats eingebaut werden sollen.

[0027] Beispiele für die Siliciumdioxidquelle sind Siliciumoxid oder Siliciumdioxid (SiO_2), das in verschiedenen Formen erhältlich ist, wie Siliciumsol, im Handel erhältlich als Ludox AS-40™, gefälltes Siliciumdioxid, im Handel erhältlich als Ultrasil VN3SP™ und Quarzstaub, im Handel erhältlich als Aerosil 200™. Beispiele für die Aluminiumquelle umfassen Natriumaluminat, Aluminiumnitrat, Aluminiumsulfat, Aluminiumhydroxid und Pseudobohämite. Beispiele für die Phosphorquelle sind Phosphorsäure (85 Gew.-%), P_2O_5 , Orthophosphorsäure, Triethylphosphat und Natriummetaphosphat. Beispiele für die Quelle der Gruppe IV, Gruppe V, Gruppe XIII, Gruppe XIV, Gruppe XV und der Übergangsmetalle der ersten Reihe sind Oxide, Chloride, Sulfate, Alkoxide, Fluoride, Nitrate und Oxalate.

[0028] Beispiele für das strukturdirigierende Mittel sind organische Amin- und quaternäre Ammoniumverbindungen und Salze und Kationen davon, einschließlich, aber nicht beschränkt auf Tetra-n-propylammoniumhydroxid, Tetra-n-propylammoniumbromid und Tetra-n-propylammoniumchlorid und Tetraethylammoniumhydroxid.

[0029] Der Zeolith kann ein bestimmtes Atomverhältnis von Silicium zu Aluminium ($\text{Si}:\text{Al}_2$) aufweisen. Beispielsweise kann das $\text{Si}:\text{Al}_2$ des Zeolithen größer als 2 sein. Ein Beispiel, das einschränkend sein soll, ist ein $\text{Si}:\text{Al}_2$ -Atomverhältnis im Bereich von 10 bis 200. Ein anderes Beispiel, ohne die Offenbarung einzuschränken, ist ein $\text{Si}:\text{Al}_2$ -Atomverhältnis im Bereich von 20 bis 300 oder von 20 bis 150 oder von 20 bis 110.

[0030] Eine weitere Beschreibung der hier beschriebenen Herstellung des Katalysators wird vorgestellt. Ein Zeolith wie GeZSM-5 kann einem Ionenaustausch mit einem Kation unterzogen werden. Das Kation kann ein Wasserstoffkation oder ein Kation der Gruppe I oder der Gruppe II (ein Alkali- oder Erdalkalimetall) wie Cäsium sein. In weiteren Beispielen kann das Kation Ammonium NH_4^+ sein. Dem Ionenaustausch kann ein zweiter Austausch mit einem anderen Element der Gruppe I oder der Gruppe II folgen, beispielsweise einem

Alkalimetall wie Natrium. In bestimmten Aspekten kann ein Kalzinierungsprozess dem anfänglichen Ionenaustausch oder dem anfänglichen Ionenaustausch sowie dem Ionenrücktausch mit dem Element der Gruppe I oder der Gruppe II folgen. Beispielsweise kann ein Zeolith wie GeZSM-5 einem Ionenaustausch mit Cäsium unterzogen werden. Der ionenausgetauschte Zeolith kann mit Natrium zurückgetauscht werden. Der rückgetauschte Zeolith kann mit einem Edelmetall wie Platin imprägniert werden. In einem weiteren Beispiel kann ein Zeolith wie GeZSM-5 einem Ionenaustausch mit einem Ammoniumkation unterzogen werden. Der ionenausgetauschte Zeolith kann mit Natrium in Kontakt gebracht werden. Der ionenausgetauschte Zeolith kann mit einem Edelmetall wie Platin imprägniert werden. In bestimmten Aspekten kann ein Kalzinierungsprozess dem anfänglichen Ionenaustausch folgen.

[0031] Der Zeolith kann mindestens einem Ionenaustausch unterzogen werden. Der Ionenaustausch kann während der Synthese des Zeolithen mit einem Alkalimetall oder Erdalkalimetall erfolgen, das als Bestandteil des Reaktionsgemisches zugesetzt wird, oder er kann mit einem kristallinen Zeolith vor oder nach der Abscheidung des Edelmetalls stattfinden. Der Zeolith kann mindestens einen Austausch mit einem Element der Alkaligruppe I oder II oder mit einem Ammoniumion unterzogen werden. Beispielsweise kann das Element der Alkaligruppe I oder II Cäsium umfassen. Wenn der Zeolith einem Austausch mit einem Element der Alkaligruppe I oder II unterzogen wird, kann der ionenausgetauschte Zeolith mit einem zweiten Element der Alkaligruppe I oder II in Kontakt gebracht werden. Das Element der Alkaligruppe I oder II für den Ionenaustausch und das Inkontaktbringen kann ein unterschiedliches Element sein. Beispielsweise kann der Austausch mit Cäsium als Alkalimetalldurchgeführt werden und der ionenausgetauschte Zeolith kann mit einem Natriumion in Kontakt gebracht werden. Das Inkontaktbringen kann auf verschiedene Arten durchgeführt werden, um die Zugabe eines Ions zu bewirken, das einen ionenausgetauschten Zeolithen oder einen Zeolithen liefert, der das Ion enthält. Beispielsweise kann der ionenausgetauschte Zeolith mit einem zweiten Element der Gruppe I oder II über einen Ionenaustauschprozess, einen beginnenden Nassprozess oder einen Trockenimprägnierungsprozess in Kontakt gebracht werden. In einem Beispiel kann der ionenausgetauschte Zeolith einem zweiten Ionenaustausch unterzogen werden. Als spezifischeres Beispiel kann das zweite alkalische Kation oder Element der Gruppe I oder Gruppe II Natrium umfassen. Es wird angemerkt, dass das erste Kation der Alkaligruppe I oder Gruppe II das gleiche Element oder ein anderes Element sein kann als das zweite Kation der Alkaligruppe I oder Gruppe II.

[0032] Wie oben angegeben, umfasst der offenbarte Katalysator einen Zeolithen, der mindestens einem Austausch mit einem Kation der Gruppe I oder II unterzogen wurde. Beispielsweise umfasst der offenbarte Katalysator einen Zeolithen, der mindestens einem ersten Austausch mit einem Alkalimetall oder Erdalkalimetall unterzogen wurde. Diese Austauschelemente oder Metalle können Cäsium, Kalium, Natrium, Rubidium, Barium, Calcium, Magnesium und Kombinationen davon umfassen. Ein Ionenaustausch oder ein Basenaustausch kann dazu führen, dass der Zeolith nichtsauer ist. Der Zeolith kann in dem Maße basenausgetauscht werden, dass die meisten oder alle mit Aluminium verbundenen Kationen Alkalimetall- oder Erdalkalimetallkationen sind. Ein Beispiel für ein einwertiges Molverhältnis von Base zu Aluminium im Zeolithen nach Ionenaustausch beträgt mindestens 0,7 oder mindestens ungefähr 0,9. In weiteren Beispielen werden 50 % des Kations des ersten Austauschs durch das Kation der Gruppe I oder II ersetzt, wenn der Zeolith danach mit einem zweiten Kation der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht wird. In noch weiteren Beispielen werden mindestens 50 % oder zum Beispiel mindestens 90 %, mindestens 95 %, mindestens 99 % oder mindestens 99,9 Gew.-% des Kations des ersten Austauschs durch das Kation der zweiten Gruppe I oder II ersetzt, wenn der Zeolith danach mit einem Kation der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht wird. Der Zeolith kann ein Molverhältnis von Alkalimetall zu Aluminiumoxid im Zeolithgerüst von 0,7 bis 1,5 aufweisen, wenn der Zeolith mit einem Element der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht wird.

[0033] Um den offenbarten Katalysator bereitzustellen, kann der ionenmodifizierte Zeolith in verschiedenen Stadien der Synthese kalziniert werden. Die Kalzinierung kann bei einer Temperatur im Bereich von ungefähr 300 °C bis ungefähr 1000 °C für eine Dauer von ungefähr einer Stunde bis ungefähr 24 Stunden erfolgen. Die Kalzinierung kann auch nach Metallabscheidung auftreten, um das Metall zu fixieren. Diese Kalzinierung kann bei einer Temperatur von ungefähr 200 °C bis ungefähr 550 °C für eine Zeit im Bereich von ungefähr 0,5 Stunden bis ungefähr 24 Stunden erfolgen. Die Kalzinierung kann in einer Umgebung aus Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Helium und Gemischen davon erfolgen. Zum Beispiel kann es nach dem Ionenaustausch bei dem Zeolith einen Kalzinierungsschritt mit einem Element der Alkaligruppe I oder II bei ungefähr 280 °C oder mit einem Ammoniumion bei ungefähr 550 °C geben. Wenn der Zeolith einem Austausch mit einem Element der Alkaligruppe I oder II unterzogen wird und der ionenausgetauschte Zeolith mit einem zweiten Element der Alkaligruppe I oder II in Kontakt gebracht wird, kann ein zweiter Kalzinierungsschritt stattfinden. Der zweite Kalzinierungsschritt kann bei ungefähr 280 °C ablaufen. Das offenbarte Kalzinieren kann stattfinden, nachdem sich ein Edelmetall am Zeolithen abgeschieden hat. Der Zeolith kann Promotoren oder Modifikatoren enthalten, wie

sie im Stand der Technik bekannt sind. Diese Promotoren oder Modifikatoren liegen in einer katalytisch wirksamen Menge vor, beispielsweise ungefähr 0,1 Gewichtsprozent (Gew.-%) bis ungefähr 1,0 Gewichtsprozent.

[0034] Wie hierin bereitgestellt, kann der Katalysator ein Edelmetall umfassen, das am Zeolithen vorgesehen oder imprägniert ist. Edelmetalle können Metalle wie beispielsweise Platin, Palladium, Iridium, Rhodium und Ruthenium umfassen. Abgeschiedene Metalle können aus Gruppe VIII, Gruppe IX und Gruppe X des Periodensystems der Elemente ausgewählt werden. Spezifische Beispiele für das abgeschiedene Metall sind Platin, Molybdän, Rhenium, Nickel, Ruthenium, Rhodium, Palladium, Osmium und Iridium. Ein oder mehrere Metalle, wie beispielsweise Bimetalle, z. B. Platin/Zinn Pt/Sn, Platin/Germanium Pt/Ge, Platin/Blei Pt/Pb oder Metall/Metalloxid-Kombinationen, beispielsweise Platin-Germaniumoxid Pt/GeO₂ können abgeschieden werden. In einem speziellen Beispiel umfasst das Edelmetall Platin. Das Edelmetall kann durch jedes bekannte Verfahren zum Abscheiden eines Metalls auf einem Zeolithen auf dem Zeolith abgeschieden werden. Typische Verfahren zum Abscheiden eines Metalls auf Zeolith sind Ionenaustausch und Imprägnierung. Das Abscheiden des Edelmetalls führt dazu, dass das Edelmetall nicht nur auf der Oberfläche des Zeolithen, sondern auch in den Poren und Kanälen des Zeolithen vorhanden ist.

[0035] In einem Beispiel der vorliegenden Offenbarung kann das Edelmetall im Katalysator im Bereich von 0,05 Gew.-% bis 3 Gew.-% vorliegen. In einem anderen Beispiel der vorliegenden Offenbarung beträgt das Edelmetall 0,2 Gew.-% bis 2 Gew.-%. In einem anderen Beispiel beträgt das Edelmetall 0,2 bis 1,5 Gew.-%. In einem weiteren Beispiel liegt Platin im Katalysator im Bereich von 0,05 bis 3 Gew.-% vor. Der Zeolith kann mit 1 Gew.-% Platin imprägniert werden.

[0036] In bestimmten Aspekten kann der Katalysator einem Vorbehandlungs- oder Regenerationsschritt unterzogen werden. Der Vorbehandlungs- oder Regenerationsschritt kann verwendet werden, um die Selektivität des Katalysators zu verbessern. Beispielsweise kann der Katalysator als Vorbehandlungs- oder Regenerationsschritt chloriert oder oxychloriert sein.

[0037] Vorliegend werden auch Verfahren zur Bildung von Aromaten aus Alkanen unter Verwendung der offenbarten Katalysatoren vorgestellt. Das Verfahren kann das Inkontaktbringen eines alkanhaltigen Beschickungsstroms mit dem Katalysator bei Temperaturen von ungefähr 400 °C bis ungefähr 730 °C umfassen. Der Katalysator kann den offenbarten ionenausgetauschten Zeolithen umfassen.

[0038] Der offenbarte Katalysator kann zur Umwandlung von C₆-C₁₂-Alkanen in Aromaten nützlich sein. Diese Alkane können Alkane umfassen, wie sie aus Erdgaskondensat, leichtem Naphtha, Raffinat aus der Aromatenextraktion und anderen Raffinerie- oder chemischen Prozessen erhalten werden können. In einem Beispiel können die offenbarten Katalysatoren die Umwandlung von Naphtha erleichtern. Die offenbarten Katalysatoren eignen sich zur Umwandlung von Iso- und regulären C₆₊-Alkanen in Aromaten. In einem speziellen Beispiel sind die offenbarten Katalysatoren zur Umwandlung von C₆-C₁₂-Alkanen mit weniger als sechs linearen Kohlenstoffatomen in Aromaten nützlich. Diese Aromaten können beispielsweise Benzol, Ethylbenzol, Toluol und Xylole einschließen.

[0039] Das vorliegende Alkanaromatisierungsverfahren kann das Leiten eines Beschickungsstroms, der ein Alkan mit sechs bis zwölf Kohlenstoffatomen (C₆-C₁₂) umfasst, zu einem Reaktor umfassen. In einigen Beispielen kann der Beschickungsstrom ein Alkan und ein Verdünnungsmittel umfassen, so dass Alkane mit fünf Kohlenstoffatomen vorhanden sein können. Der alkanhaltige Beschickungsstrom kann mit dem offenbarten Katalysator in Kontakt gebracht werden, um die Reaktion von C₆-C₁₂-Alkanen zu aromatischen Kohlenwasserstoffen wie Benzol bei einer Temperatur von ungefähr 400 °C bis ungefähr 730 °C und einem Druck von ungefähr 0,01 bis ungefähr 1,0 Megapascal MPa zu fördern. Die primären gewünschten Produkte des Verfahrens dieser Offenbarung sind Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol.

[0040] Die hier beschriebene alkanhaltige Beschickung kann unter solchen Bedingungen erfolgen wie folgt: bei einer stündlichen Gewichtsraumgeschwindigkeit von 1 bis 500 pro Stunde (h⁻¹) oder genauer bei 1 h⁻¹ bis 100 h⁻¹; bei einer Temperatur zwischen 250 °C und 800 °C oder genauer von ungefähr 400 °C bis ungefähr 700 °C.

[0041] Aspekte der vorliegenden Offenbarung stellen eine Aromatisierung von Alkanen unter Verwendung der offenbarten Katalysatoren bereit, wobei die Alkane zwischen sechs und zwölf Kohlenstoffatome pro Molekül aufweisen, um Aromaten wie Benzol, Ethylbenzol, Toluol und Xylol herzustellen. Der Kontakt zwischen den Alkanen und dem Katalysator kann mit einer stündlichen Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit in einem Bereich zwischen 0,1 h⁻¹ und 100 h⁻¹, bei einer Temperatur größer oder gleich 450 °C und bei einem Druck in einem

Bereich zwischen 0,03 MPa und 2,17 MPa fortschreiten. In anderen Aspekten erfolgt der Kontakt zwischen den Alkanen und dem Katalysator mit einer stündlichen Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit in einem Bereich zwischen $0,1 \text{ h}^{-1}$ und 100 h^{-1} bei einer Temperatur in einem Bereich zwischen $450 \text{ }^\circ\text{C}$ und $650 \text{ }^\circ\text{C}$ und bei einem Druck in einem Bereich zwischen 0,03 MPa und 2,17 MPa. In weiteren Aspekten kann der Kontakt zwischen den Alkanen und dem Katalysator bei einer stündlichen Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit in einem Bereich zwischen $0,1 \text{ h}^{-1}$ und 100 h^{-1} bei einer Temperatur in einem Bereich zwischen $450 \text{ }^\circ\text{C}$ und $625 \text{ }^\circ\text{C}$ und bei einem Druck in einem Bereich zwischen 0,03 MPa und 2,17 MPa liegen. Der Kontakt zwischen den Alkanen und dem Katalysator erfolgt bei einer stündlichen Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit in einem Bereich zwischen $0,1 \text{ h}^{-1}$ und 100 h^{-1} bei einer Temperatur in einem Bereich zwischen $450 \text{ }^\circ\text{C}$ und $600 \text{ }^\circ\text{C}$ und bei einem Druck in einem Bereich zwischen 0,03 MPa und 2,17 MPa. Der Kontakt zwischen den Alkanen und dem Katalysator kann mit einer flüssigen stündlichen Raumgeschwindigkeit in einem Bereich zwischen $0,1 \text{ h}^{-1}$ und 100 h^{-1} bei einer Temperatur in einem Bereich zwischen $450 \text{ }^\circ\text{C}$ und $575 \text{ }^\circ\text{C}$ und bei einem Druck in einem Bereich zwischen 0,03 MPa und 2,17 MPa erfolgen.

[0042] Das Reaktorsystem zur Durchführung des Aromatisierungsprozesses ist möglicherweise nicht ausschlaggebend. Geeignete Reaktorsysteme können ein Festbettsystem, ein Wanderbettsystem oder ein Fließbettsystem umfassen. Das Reaktorsystem kann ein One-Pass-System oder ein Recyclingsystem sein. In einem Aspekt umfasst der Reaktor einen Bereich, ein Gefäß oder eine Kammer, die Katalysatorpartikel enthält, durch die der alkanhaltige Beschickungsstrom fließt und die Reaktion stattfindet. Das Reaktorsystem kann beispielsweise ein festes, sich bewegendes oder fluidisiertes Katalysatorbett umfassen. Die Reaktionsprodukte fließen dann aus dem Bett und werden gesammelt. Die Reaktionsprodukte können abgetrennt werden und aromatische C_6^+ -Kohlenwasserstoffe werden gewonnen. Optional werden Methan und Wasserstoff gewonnen und optional werden die $\text{C}_5\text{-C}_6$ -Kohlenwasserstoffe in den Reaktorzufuhrstrom zurückgeführt.

Eigenschaften

[0043] Der Katalysator kann in einem Aromatisierungsverfahren von Alkanen wie Alkanen mit sechs bis zwölf Kohlenstoffatomen pro Molekül verwendet werden, um Aromaten wie Benzol, Ethylbenzol, Toluol und Xylol herzustellen. Der Kontakt zwischen der Alkanbeschickung und dem Katalysator erfolgt mit einer stündlichen Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit im Bereich zwischen 1 h^{-1} bis 2 h^{-1} bei einer Siebbedingung von $8,6 \text{ h}^{-1}$ bei einer Temperatur im Bereich zwischen $400 \text{ }^\circ\text{C}$ und $730 \text{ }^\circ\text{C}$ und bei einem Druck im Bereich zwischen 0,1 MPa und 1,0 MPa.

[0044] Die offenbarten Entwicklungen können zu einer höheren Produktivität, einer längeren Lebensdauer des Katalysators, einer Anpassungsfähigkeit an bestimmte Beschickungsströme und/oder einer Kostenreduzierung bei Rohmaterial, Ausrüstung und Prozessbetrieb führen. Ein Beispiel für einen Beschickungsstrom, an den dieser Katalysator der vorliegenden Offenbarung anpassbar wäre, wäre ein Beschickungsstrom, der überwiegend aus Isohexanen besteht, d. h. mehr als ungefähr 50 Vol.-%. In einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung enthält der Beschickungsstrom $\text{C}_5\text{-C}_{12}$ -Alkane oder $\text{C}_5\text{-C}_8$ -Alkane, entweder allein oder als Komponenten in einer Mischung, d. h. in einem Bereich von 0 % bis 100 % für jedes C_5 -, C_6 -, C_7 - und C_8 -Alkan.

[0045] Die offenbarten Katalysatoren können für einen breiteren Bereich von Beschickungen als herkömmliche Optionen nützlich sein, da die offenbarten Katalysatoren einen wesentlichen Teil des Isohexans innerhalb der Beschickung in n-Hexan und anschließend in Benzol umwandeln können, wo das Isohexan nicht umgewandelt wird, wenn ein herkömmlicher Katalysator verwendet wird. Da die Skelettisomerisierung von Hexanen durch das Gleichgewicht begrenzt sein kann, ist darüber hinaus die Menge an n-Hexan, die hergestellt werden kann, typischerweise auch begrenzt, wenn eine Isomerisierung in einer separaten Einheit durchgeführt wird. Die offenbarten Katalysatoren machen eine separate Einheit zur Isomerisierung überflüssig, indem sie die Isomerisierung und Aromatisierung in einem gemeinsamen Reaktor erleichtern, wodurch eine Senke für n-Hexan erhalten wird. Mit anderen Worten, wenn n-Hexan durch Isomerisierung gebildet wird, wird es aromatisiert und Gleichgewichtsgrenzen können innerhalb des Reaktors überwunden werden, wenn n-Hexan verbraucht wird.

[0046] Die vorliegende Offenbarung bezieht sich zumindest auf die folgenden Aspekte.

[0047] Aspekt 1. Katalysator, umfassend: einen Zeolith, der ein Gerüst umfasst, wobei das Gerüst Silicium und Aluminium umfasst und ein Edelmetall, wobei (a) der Zeolith mindestens einem ersten Austausch mit einem Kation der Gruppe I oder II oder einem Ammoniumkation unterzogen wurde und (b) der Zeolith danach mit einem zweiten Kation der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht wird, wobei der Schritt des Inkontaktbringens eine Austausch-, beginnende Nässe- oder Trockenimprägnierung umfasst und wobei das Edelmetall nach dem Schritt des Inkontaktbringens am Zeolithen abgeschieden wird.

[0048] Aspekt 1B. Katalysator bestehend im Wesentlichen aus: einem Zeolith, der ein Gerüst umfasst, wobei das Gerüst im Wesentlichen aus Silicium und Aluminium besteht, und einem Edelmetall, wobei (a) der Zeolith mindestens einem ersten Austausch mit einem Kation der Gruppe I oder II oder einem Ammoniumkation unterzogen wurde und (b) der Zeolith danach mit einem zweiten Kation der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht wird, wobei der Schritt des Inkontaktbringens eine Austausch-, beginnende Nässe- oder Trockenimprägnierung umfasst und wobei das Edelmetall nach dem Schritt des Inkontaktbringens am Zeolithen abgeschieden wird.

[0049] Aspekt 1C. Katalysator bestehend aus: einem Zeolith, der ein Gerüst umfasst, wobei das Gerüst aus Silicium und Aluminium besteht, und einem Edelmetall, wobei (a) der Zeolith mindestens einem ersten Austausch mit einem Kation der Gruppe I oder II oder einem Ammoniumkation unterzogen wurde und (b) der Zeolith danach mit einem zweiten Kation der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht wird, wobei der Schritt des Inkontaktbringens eine Austausch-, beginnende Nässe- oder Trockenimprägnierung umfasst und wobei das Edelmetall nach dem Schritt des Inkontaktbringens am Zeolithen abgeschieden wird.

[0050] Aspekt 2. Katalysator, umfassend: einen Zeolith, der ein Gerüst umfasst, wobei das Gerüst Silicium und Aluminium umfasst, und ein am Zeolithen abgeschiedenes Edelmetall, wobei der Zeolith ferner Cäsium- und Natriumionen umfasst.

[0051] Aspekt 3. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-2, wobei das Gerüst ferner ein Metalloid umfasst.

[0052] Aspekt 4. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-3, wobei das Gerüst ferner Germanium umfasst.

[0053] Aspekt 5. Katalysator nach Aspekt 4, wobei der Zeolith ungefähr 0,2 Gew.-% bis ungefähr 10 Gew.-% Germanium umfasst.

[0054] Aspekt 6. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-5, wobei der Zeolith MFI, BEA, MOR oder LTL ist.

[0055] Aspekt 7. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-5, wobei der Zeolith ZSM-5 ist.

[0056] Aspekt 8. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-7, wobei das Kation ein Ammoniumion oder ein Alkalikation der Gruppe I oder Gruppe II ist.

[0057] Aspekt 9. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-8, wobei das Kation der Gruppe I oder II Cäsium ist.

[0058] Aspekt 10. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-8, wobei das Kation der Gruppe I oder II Natrium ist.

[0059] Aspekt 11. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-10, wobei der Zeolith ein Molverhältnis von Alkali- metall zu Aluminiumoxid im Zeolithgerüst von 0,7 bis 1,5 aufweist, wenn der Zeolith mit einem Kation der Gruppe I oder II in Schritt (b) in Kontakt gebracht wird.

[0060] Aspekt 12. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-C und 3-11, wobei mehr als 50 % des Kations durch das Kation der Gruppe I oder II ersetzt werden, wenn der Zeolith danach in Schritt (b) mit einem Kation der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht wird.

[0061] Aspekt 13. Katalysator nach einem der Aspekte 1 A-C und 3-12, wobei das Edelmetall Platin umfasst.

[0062] Aspekt 14. Katalysator nach einem der Aspekte 3-17, wobei das Edelmetall in einer Menge von 0,02 Gew.-% bis 2 Gew.-% vorliegt.

[0063] Aspekt 15. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-12, wobei das Edelmetall in einer Menge von 0,2 Gew.-% bis 2 Gew.-% bezogen auf das Gesamtgewicht des Katalysators vorliegt.

[0064] Aspekt 16. Katalysator nach einem der Aspekte 3-14, wobei der Zeolith kalziniert wird.

[0065] Aspekt 17. Katalysator nach einem der Aspekte 3-15, wobei der Zeolith bei einer Temperatur von ungefähr 280 °C bis 550 °C kalziniert wird.

[0066] Aspekt 18. Katalysator nach einem der Aspekte 3-16, wobei das Edelmetall Platin umfasst.

- [0067]** Aspekt 19. Katalysator nach einem der Aspekte 3-18, wobei der Katalysator zur Erleichterung der Aromatisierung von Alkanen zu Aromaten geeignet ist, wobei die Alkane sechs bis zwölf Kohlenstoffe aufweisen.
- [0068]** Aspekt 20. Katalysator nach einem der Aspekte 1-19, wobei der Katalysator zur Erleichterung der Aromatisierung von Alkanen zu Aromaten geeignet ist und wobei die Alkane Isohexane umfassen.
- [0069]** Aspekt 21. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-20, wobei der Katalysator eine aromatische Selektivität von mindestens 90 % zur Umwandlung einer Naphtha-Beschickung nach 50 Stunden im Strom für einen 0,75-Wasserstoff/Hexan-Strom bei einer Temperatur von ungefähr 515 °C, atmosphärischem Druck und einer stündlichen Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit von ungefähr 8,6 pro Stunde bereitstellt.
- [0070]** Aspekt 22. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-21, wobei der Katalysator eine aromatische Selektivität von ungefähr 85 % bis 99 % zur Umwandlung einer Naphtha-Beschickung nach 50 Stunden im Strom für einen 0,75-Wasserstoff/Hexan-Strom bei einer Temperatur von ungefähr 515 °C, atmosphärischem Druck und einer stündlichen Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit von ungefähr 8,6 pro Stunde bereitstellt.
- [0071]** Aspekt 23. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-21, wobei der Katalysator eine Selektivität von ungefähr 90 % bis 99 % für die Umwandlung einer Naphtha-Beschickung nach 50 Stunden im Strom für einen 0,75-Wasserstoff/Hexan-Strom bei einer Temperatur von ungefähr 515°C, atmosphärischem Druck und einer stündlichen Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit von ungefähr 8,6 pro Stunde bereitstellt.
- [0072]** Aspekt 24. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-21, wobei der Katalysator eine Umwandlungsrate von mindestens 20 % zur Umwandlung einer Naphtha-Beschickung nach 50 Stunden im Strom für einen 0,75-Wasserstoff/Hexan-Strom bei einer Temperatur von ungefähr 515 °C und einer stündlichen Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit von ungefähr 8,6 pro Stunde bereitstellt, wenn ein Produkt mittels Gaschromatographie analysiert wird.
- [0073]** Aspekt 25. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-21, wobei der Katalysator eine Umwandlungsrate von ungefähr 20 % bis 35 % zur Umwandlung einer Naphtha-Beschickung in Aromaten nach 50 Stunden im Strom für einen 0,75-Wasserstoff/Hexan-Strom bei einer Temperatur von ungefähr 515 °C, Umgebungsdruck und einer stündlichen Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit von ungefähr 8,6 pro Stunde bereitstellt.
- [0074]** Aspekt 26. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-21, wobei der Katalysator eine Isomerisierung von mindestens 10 % nach 50 Stunden im Strom für einen 0,75-Wasserstoff/Hexan-Strom bei einer Temperatur von ungefähr 515 °C, Umgebungsdruck und einer Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit von ungefähr 8,6 h⁻¹ bereitstellt.
- [0075]** Aspekt 27. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-21, wobei der Katalysator eine Isomerisierung von ungefähr 10 bis ungefähr 25 für einen 0,75-Wasserstoff/Hexan-Strom bei einer Temperatur von ungefähr 515 °C, Umgebungsdruck und einer stündlichen Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit von ungefähr 8,6 h⁻¹ bereitstellt.
- [0076]** Aspekt 28. Katalysator nach einem der Aspekte 1A-21, wobei mindestens ein Teil der Alkane weniger als sechs lineare Atome aufweist.
- [0077]** Aspekt 29A. Verfahren zur Aromatisierung von Kohlenwasserstoffen, wobei das Verfahren das Inkontaktbringen eines Beschickungsstroms mit mindestens einem Katalysator umfasst, wobei der Beschickungsstrom ein Alkan umfasst, wobei der Katalysator einen Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith umfasst, bei dem Platin abgeschieden wurde, wobei der Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith einem ersten Ionenaustausch und einem Kontakt mit einem zweiten Ion unterzogen wurde; und zum Gewinnen eines aromatischen Produkts.
- [0078]** Aspekt 29B. Verfahren zur Aromatisierung von Kohlenwasserstoffen, wobei das Verfahren darin besteht, einen Beschickungsstrom mit mindestens einem Katalysator in Kontakt zu bringen, wobei der Beschickungsstrom ein Alkan umfasst, wobei der Katalysator einen Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith umfasst, bei dem Platin abgeschieden wurde, wobei der Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith einem ersten Ionenaustausch und einem Kontakt mit einem zweiten Ion unterzogen wurde; und zum Gewinnen eines aromatischen Produkts.
- [0079]** Aspekt 29C. Verfahren zur Aromatisierung von Kohlenwasserstoffen, wobei das Verfahren im Wesentlichen darin besteht, einen Beschickungsstrom mit mindestens einem Katalysator in Kontakt zu bringen, wobei der Beschickungsstrom ein Alkan umfasst, wobei der Katalysator einen Aluminium-Silicium-Germanium-Zeo-

lithen umfasst, an dem Platin abgeschieden wurde, wobei der Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith einem ersten Ionenaustausch und einem Kontakt mit einem zweiten Ion unterzogen wurde; und zum Gewinnen eines aromatischen Produkts.

[0080] Aspekt 30A. Verfahren zur Herstellung eines Katalysators, wobei das Verfahren umfasst: Inkontaktbringen eines Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolithen mit einem ersten Ion, um einen ersten ionenausgetauschten Zeolithen bereitzustellen, wobei das erste Ion ein Alkalimetall oder ein Ammoniumion umfasst; Inkontaktbringen des ersten ionenausgetauschten Zeolithen mit einem zweiten Ion, um einen zweiten ionenausgetauschten Zeolithen bereitzustellen; und Inkontaktbringen des zweiten ionenausgetauschten Zeolithen mit mindestens einem Edelmetallion.

[0081] Aspekt 30B. Verfahren zur Herstellung eines Katalysators, wobei das Verfahren im Wesentlichen aus Folgendem besteht: Inkontaktbringen eines Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolithen mit einem ersten Ion, um einen ersten ionenausgetauschten Zeolithen bereitzustellen, wobei das erste Ion ein Alkalimetall oder ein Ammoniumion umfasst; Inkontaktbringen des ersten ionenausgetauschten Zeolithen mit einem zweiten Ion, um einen zweiten ionenausgetauschten Zeolithen bereitzustellen; und Inkontaktbringen des zweiten ionenausgetauschten Zeolithen mit mindestens einem Edelmetallion.

[0082] Aspekt 30C. Verfahren zur Herstellung eines Katalysators, wobei das Verfahren aus Folgendem besteht: Inkontaktbringen eines Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolithen mit einem ersten Ion, um einen ersten ionenausgetauschten Zeolithen bereitzustellen, wobei das erste Ion ein Alkalimetall oder ein Ammoniumion umfasst; Inkontaktbringen des ersten ionenausgetauschten Zeolithen mit einem zweiten Ion, um einen zweiten ionenausgetauschten Zeolithen bereitzustellen; und Inkontaktbringen des zweiten ionenausgetauschten Zeolithen mit mindestens einem Edelmetallion.

[0083] Aspekt 31. Verfahren nach Aspekt 30, wobei das zweite Ion ein Alkalimetallion umfasst.

[0084] Aspekt 32. Verfahren nach Aspekt 30, wobei das erste Ion ein Cäsiumion oder Ammoniumion umfasst.

[0085] Aspekt 33. Verfahren nach Aspekt 30, wobei das zweite Ion Natriumionen umfasst.

[0086] Aspekt 34. Verfahren nach einem der Aspekte 30-33, wobei das Edelmetallion Platin umfasst.

[0087] Aspekt 35. Verfahren nach Aspekt 30, wobei das Inkontaktbringen des zweiten ionenausgetauschten Zeolithen mit mindestens einem ersten Metallion einen Prozess des Ionenaustauschs, beginnende Nässeimprägnierung oder Trockenimprägnierung umfasst.

[0088] Aspekt 36A. Katalysator bestehend aus: einem Zeolith, der ein Gerüst und ferner Silicium, Aluminium und Germanium umfasst und ein am Zeolithen abgeschiedenes Edelmetall aufweist, wobei der Zeolith mindestens einem ersten Ionenaustausch und einem zweiten Ionenkontakt unterzogen wurde, wobei der Katalysator zur Erleichterung der Aromatisierung von Alkanen zu Aromaten geeignet ist und wobei die Alkanbeschickung fünf bis zwölf Kohlenstoffe aufweist und wobei mindestens ein Teil der Alkane Isomere enthält.

[0089] Aspekt 36B. Katalysator bestehend im Wesentlichen aus: einem Zeolith, der ein Gerüst und ferner Silicium, Aluminium und Germanium umfasst und ein am Zeolithen abgeschiedenes Edelmetall aufweist, wobei der Zeolith mindestens einem ersten Ionenaustausch und einem zweiten Ionenkontakt unterzogen wurde, wobei der Katalysator geeignet ist, um die Aromatisierung von Alkanen zu Aromaten zu erleichtern, und wobei die Alkanbeschickung fünf bis zwölf Kohlenstoffe aufweist und wobei mindestens ein Teil der Alkane Isomere enthält.

[0090] Aspekt 36C. Katalysator bestehend aus: einem Zeolith, der ein Gerüst und ferner Silicium, Aluminium und Germanium umfasst und ein am Zeolithen abgeschiedenes Edelmetall aufweist, wobei der Zeolith mindestens einem ersten Ionenaustausch und einem zweiten Ionenkontakt unterzogen wurde, wobei der Katalysator zur Erleichterung der Aromatisierung von Alkanen zu Aromaten geeignet ist und wobei die Alkanbeschickung fünf bis zwölf Kohlenstoffe aufweist und wobei mindestens ein Teil der Alkane Isomere enthält.

[0091] Aspekt 37. Katalysator der Aspekte 36A-C, wobei mindestens ein Teil der Alkane weniger als sechs lineare Kohlenstoffatome aufweist.

[0092] Aspekt 38A. Verfahren zur Aromatisierung und Isomerisierung von Kohlenwasserstoffen, wobei das Verfahren das Inkontaktbringen eines Beschickungsstroms mit mindestens einem Katalysator umfasst, wobei der Beschickungsstrom ein Alkan umfasst, wobei der Katalysator einen Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolithen umfasst, an dem Platin abgeschieden wurde, der Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith einem ersten Ionenaustausch und einen zweiten Ionenkontakt unterzogen wurde; und zum Gewinnen eines aromatischen Produkts.

[0093] Aspekt 38B. Verfahren zur Aromatisierung und Isomerisierung von Kohlenwasserstoffen, wobei das Verfahren im Wesentlichen aus einem Beschickungsstrom mit mindestens einem Katalysator besteht, wobei der Beschickungsstrom ein Alkan umfasst, wobei der Katalysator einen Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolithen umfasst, an dem Platin abgeschieden wurde, der Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith einem ersten Ionenaustausch und einem zweiten Ionenkontakt unterzogen wurde; und zum Gewinnen eines aromatischen Produkts.

[0094] Aspekt 38C. Verfahren zur Aromatisierung und Isomerisierung von Kohlenwasserstoffen, wobei das Verfahren darin besteht, einen Beschickungsstrom mit mindestens einem Katalysator in Kontakt zu bringen, wobei der Beschickungsstrom ein Alkan umfasst, wobei der Katalysator einen Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolithen umfasst, an dem Platin abgeschieden wurde, der Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith einem ersten Ionenaustausch und einem zweiten Ionenkontakt unterzogen wurde; und zum Gewinnen eines aromatischen Produkts.

[0095] Aspekt 39A. Verfahren zur Aromatisierung von Kohlenwasserstoffen, wobei das Verfahren das Inkontaktbringen eines Beschickungsstroms mit mindestens einem Katalysator umfasst, wobei der Beschickungsstrom ein Alkan umfasst, wobei das Alkan weniger als sechs lineare Kohlenstoffatome umfasst und wobei der Katalysator einen Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith umfasst, an welchem Platin abgeschieden wurde, der Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith einem ersten Ionenaustausch und einem zweiten Ionenkontakt unterzogen wurde; und zum Gewinnen eines aromatischen Produkts und wobei der Katalysator die Aromatisierung und Isomerisierung des Alkans erleichtert, das weniger als sechs lineare Kohlenstoffatome umfasst.

[0096] Aspekt 39B. Verfahren zur Aromatisierung von Kohlenwasserstoffen, wobei das Verfahren im Wesentlichen darin besteht, einen Beschickungsstrom mit mindestens einem Katalysator in Kontakt zu bringen, wobei der Beschickungsstrom ein Alkan umfasst, wobei das Alkan weniger als sechs lineare Kohlenstoffatome umfasst und wobei der Katalysator einen Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith umfasst, an dem Platin abgeschieden wurde, der Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith einem ersten Ionenaustausch und einem zweiten Ionenkontakt unterzogen wurde; und zum Gewinnen eines aromatischen Produkts und wobei der Katalysator die Aromatisierung und Isomerisierung des Alkans erleichtert, das weniger als sechs lineare Kohlenstoffatome umfasst.

[0097] Aspekt 39C. Verfahren zur Aromatisierung von Kohlenwasserstoffen, wobei das Verfahren darin besteht, einen Beschickungsstrom mit mindestens einem Katalysator in Kontakt zu bringen, wobei der Beschickungsstrom ein Alkan umfasst, wobei das Alkan weniger als sechs lineare Kohlenstoffatome umfasst und wobei der Katalysator einen Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith umfasst, an dem Platin abgeschieden wurde, der Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolith einem ersten Ionenaustausch und einem zweiten Ionenkontakt unterzogen wurde; und zum Gewinnen eines aromatischen Produkts, wobei der Katalysator die Aromatisierung und Isomerisierung des Alkans erleichtert, das weniger als sechs lineare Kohlenstoffatome umfasst.

[0098] Aspekt 40A. Katalysator, Folgendes umfassend: einen Zeolith, der ein Gerüst umfasst, wobei das Gerüst Silicium und Aluminium umfasst und ein Edelmetall, wobei (a) der Zeolith mindestens einem ersten Austausch mit einem ersten Kation unterzogen wurde, wobei das erste Kation ein Kation der Gruppe I oder II oder ein Ammoniumion umfasst und (b) der Zeolith danach mit einem Kation der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht wird und wobei der Schritt des Inkontaktbringens eine Austausch-, beginnende Nässe- oder Trockenimprägnierung umfasst.

[0099] Aspekt 40B. Katalysator bestehend im Wesentlichen aus: einem Zeolith, der ein Gerüst umfasst, wobei das Gerüst Silicium und Aluminium umfasst und einem Edelmetall, wobei (a) der Zeolith mindestens einem ersten Austausch mit einem ersten Kation unterzogen wurde, wobei das erste Kation ein Kation der Gruppe I oder II oder ein Ammoniumion umfasst, und (b) der Zeolith danach mit einem Kation der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht wird, wobei der Schritt des Inkontaktbringens eine Austausch-, beginnende Nässe- oder Trockenimprägnierung umfasst.

[0100] Aspekt 40C. Katalysator bestehend aus: einem Zeolith, der ein Gerüst umfasst, wobei das Gerüst Silicium und Aluminium umfasst und einem Edelmetall, wobei (a) der Zeolith mindestens einem ersten Austausch mit einem ersten Kation unterzogen wurde, wobei das erste Kation ein Kation der Gruppe I oder II oder ein Ammoniumion umfasst und (b) der Zeolith danach mit einem Kation der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht wird, wobei der Schritt des Inkontaktbringens eine Austausch-, beginnende Nässe- oder Trockenimprägnierung umfasst.

[0101] Aspekt 41. Katalysator der Aspekte 40A-40C, wobei der Katalysator zur Aromatisierung und/oder Isomerisierung von Alkanen geeignet ist und wobei mindestens ein Teil der Alkane weniger als sechs lineare Kohlenstoffatome aufweist.

[0102] Nachdem die Offenbarung allgemein beschrieben worden ist, werden die folgenden Beispiele als besondere Ausführungsformen der Offenbarung angegeben und um die Praxis und ihre Vorteile zu demonstrieren. Es versteht sich, dass die Beispiele zur Veranschaulichung angegeben sind und nicht dazu gedacht sind, die Spezifikation oder die zu befolgenden Aspekte in irgendeiner Weise einzuschränken.

BEISPIELE

[0103] Die folgenden Beispiele werden angegeben, um dem Durchschnittsfachmann eine vollständige Offenbarung und Beschreibung zu liefern, wie die hier beanspruchten Verbindungen, Zusammensetzungen, Artikel, Vorrichtungen und/oder Verfahren hergestellt und bewertet werden, und sollen rein beispielhaft sein und sie sollen die Offenbarung nicht einschränken. Es wurden Anstrengungen unternommen, um die Genauigkeit in Bezug auf Zahlen (z. B. Mengen, Temperatur usw.) sicherzustellen, aber einige Fehler und Abweichungen sollten berücksichtigt werden. Sofern nicht anders angegeben, sind Teile Gewichtsteile, die Temperatur ist in °C angegeben oder liegt bei der Umgebungstemperatur und der Druck liegt bei oder nahe dem Atmosphärendruck. Sofern nicht anders angegeben, werden die auf die Zusammensetzung bezogenen Prozentsätze in Gew.-% angegeben.

[0104] Es sind nur vernünftige und routinemäßige Experimente erforderlich, um solche Prozessbedingungen zu optimieren. Obwohl das Folgende anhand von Beispielwerten, Prozessen und Materialien veranschaulicht wird, wird in Betracht gezogen, dass andere Materialien, Prozesse und Werte gemäß den Entwurfsspezifikationen verwendet werden können.

[0105] Die Katalysatoren A, B, C, D und E wurden durch Modifizieren eines GeZSM-5-Zeolithen mit Alkalimetallen hergestellt.

[0106] Synthese eines Ge-ZSM-5-Zeolith. Lösung Nr. 1 wurde durch Verdünnen von 15,84 Gramm (g) 50 Gew.-% Natriumhydroxid-NaOH-Lösung mit 131,25 g entionisiertem (DI) Wasser und anschließendem Lösen von 7,11 g Germaniumdioxid hergestellt. Lösung Nr. 2 wird hergestellt, indem 3,84 g Natriumaluminatlösung (23,6 Gew.-% Aluminiumoxid und 19,4 Gew.-% Natriumoxid) mit 153,9 g DI-Wasser verdünnt werden. Lösung Nr. 1 wurde zu 150 g Ludox TM AS-40 (40 Gew.-% Siliciumdioxid in kolloidalem Zustand) gegeben und 10 Minuten kräftig gerührt, um eine homogene Mischung zu erhalten. Lösung Nr. 2 wurde in diese Mischung eingerührt. Nach 15 Minuten heftigem Rühren wurden 105,42 g Tetra-n-propylammoniumhydroxid (TPAOH) zugegeben und das Gemisch 60 Minuten gerührt. Schließlich wurden 23,32 g Eisessig zu dem Gel gegeben, um den pH-Wert der Mischung auf ungefähr 9 einzustellen. Diese Mischung wurde in einen 1-L-Autoklaven aus rostfreiem Stahl geladen und unter Rühren 36 Stunden auf 160 °C erhitzt. Anschließend wurden die erhaltenen Feststoffe aus der Mutterlauge abfiltriert und mit DI-Wasser gewaschen. Der Feststoff wurde 10 Stunden bei 550 °C in einem Ofen mit Luftstrom kalziniert. Die MFI-Struktur des Feststoffs wurde durch Messen des Pulverröntgenbeugungsmusters bestätigt.

[0107] Katalysator A. Eine Menge von 8 Gramm (g) GeZSM-5 wurde mit 400 Milliliter ml wässrigem Cäsiumnitrat CsNO_3 (0,5 molar, M) gewaschen und dann filtriert. Das Filtrat wurde dann noch dreimal mit 0,5 M CsNO_3 erneut gewaschen, dann in 200 ml destilliertem Wasser gewaschen und insgesamt viermal filtriert. Das Zeolithpulver wurde dann drei Stunden lang bei 280 °C in Luft kalziniert. Die beginnende Nässeimprägnierung wurde durchgeführt, indem tropfenweise eine Lösung von 0,106 g Tetraamminplatin-(II)-nitrat $\text{Pt}(\text{NH}_2)_4(\text{NO}_3)_2$, gelöst in 2,90 g entionisiertem Wasser, zu 5,053 g Cs-ausgetauschtem Ge ZSM-5 gegeben wurde. Das Material wurde eine Stunde bei 120 °C in einem Trockenofen getrocknet und dann 3 Stunden bei 280 °C kalziniert. Die Elementaranalyse ergab 39,9 Gew.-% Si, 0,7 Gew.-% Al, 4,17 Gew.-% GE, 5,0 Gew.-% Cäsium Cs und 0,9 Gew.-% Pt.

[0108] Katalysator B. Eine Menge von 0,035 g Natriumnitrat NaNO_3 wurde in 3,0 ml entionisiertem Wasser gelöst. Diese Lösung wurde dann tropfenweise auf das Pulver von NaCsGeZSM-5 gegeben. Das Material wurde eine Stunde bei 110 °C in Luft in einem Trockenofen getrocknet und dann acht Stunden bei 520 °C in Luft kalziniert. Die beginnende Nässeimprägnierung wurde durchgeführt, indem tropfenweise eine Lösung von 0,087 g $\text{Pt}(\text{NH}_2)_4(\text{NO}_3)_2$, gelöst in 4,0 g entionisiertem Wasser, zu 3,904 g des NaCs -ausgetauschten ZSM-5 gegeben wurde. Das Material wurde 1 Stunde in einem Trockenofen bei 110 °C getrocknet und dann drei Stunden bei 280 °C kalziniert. Die Elementaranalyse ergab 40,4 Gew.-% Si, 0,6 Gew.-% Al, 3,9 Gew.-% Ge, 0,6 Gew.-% Na und 1,1 Gew.-% Pt.

[0109] Katalysator C. Eine Menge von 30,036 g GeZSM-5 wurde mit 1500 ml wässrigem CsNO_3 (0,5 M) bei Raumtemperatur zwei Stunden lang gerührt und dann filtriert. Dieser Schritt wurde noch dreimal wiederholt. Das Material wurde dann viermal mit 1500 ml entionisiertem Wasser gewaschen und über Nacht bei Raumtemperatur getrocknet. Eine Menge von 9,00 g CsGeZSM-5 wurde in 450 ml wässrigem NaNO_3 (0,5 M) gerührt und dann filtriert. Dieser Schritt wurde noch viermal wiederholt und das Material viermal mit 400 ml entionisiertem Wasser gewaschen. Das Material wurde 1 Stunde in einem Trockenofen bei 110 °C getrocknet und dann 3 Stunden bei 280 °C kalziniert. Die beginnende Nässeimprägnierung wurde durchgeführt, indem tropfenweise eine Lösung von 0,083 g $\text{Pt}(\text{NH}_2)_4(\text{NO}_3)_2$, gelöst in 2,24 g entionisiertem Wasser, zu 4,010 g des NaCs -ausgetauschten Ge-ZSM-5 gegeben wurde. Das Material wurde 1 Stunde in einem Trockenofen bei 110 °C getrocknet und dann 3 Stunden bei 280 °C kalziniert. Die Elementaranalyse ergab 40,8 Gew.-% Si, 0,7 Gew.-% Al, 3,7 Gew.-% Ge, 0,5 Gew.-% Na, 0,02 Gew.-% Cs und 1,0 Gew.-% Pt.

[0110] Katalysator D. Eine Menge von 30,021 g GeZSM-5 wurde mit 1500 ml wässrigem CsNO_3 (0,5 M) bei Raumtemperatur zwei Stunden lang gerührt und dann filtriert. Dieser Schritt wurde noch dreimal wiederholt. Das Material wurde dann viermal mit 1500 ml entionisiertem Wasser gewaschen und 1 Stunde in einem 110 °C-Trockenofen getrocknet und dann 3 Stunden bei 280 °C kalziniert. 17,014 g NaNO_3 wurden in 400 ml DI-Wasser gelöst und bei Raumtemperatur gut gerührt. Zu dieser Lösung wurden 8,068 g CsGeZSM-5 gegeben und zwei Stunden bei Raumtemperatur gerührt. Die Aufschlämmung wurde filtriert. Die Zugabe des NaNO_3 -Schritts wurde noch dreimal wiederholt. Das Material wurde dann viermal mit 1500 ml DI-Wasser gewaschen und 1 Stunde in einem 110 °C-Trockenofen getrocknet und dann drei Stunden bei 280 °C kalziniert. Die beginnende Nässeimprägnierung wurde durchgeführt, indem tropfenweise eine Lösung von 0,144 g $\text{Pt}(\text{NH}_2)_4(\text{NO}_3)_2$, gelöst in 3,90 g entionisiertem Wasser, zu 7,027 g des NaCs -ausgetauschten ZSM-5 gegeben wurde. Das Material wurde 1 Stunde in einem Trockenofen bei 110 °C getrocknet und dann 3 Stunden bei 280 °C kalziniert. Die Elementaranalyse ergab 40,3 Gew.-% Si, 0,7 Gew.-% Al, 4,0 Gew.-% Ge, 0,6 Gew.-% Na, 0,02 Gew.-% Cs und 1 Gew.-% Pt.

[0111] Katalysator E. Ge-ZSM-5 ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 113 \text{ Mol}$; $\text{Si}/\text{Ge} = 21,6 \text{ Mol}$) wurde mit 0,5 M Ammoniumchlorid- NH_4Cl -Lösung im Gewichtsverhältnis Lösung/Probe = 20 bei Raumtemperatur unter Rühren in vier Schritten ionenausgetauscht. Das Material wurde mit DI-Wasser gewaschen, über Nacht getrocknet und 5 Stunden bei 500 °C und einer Heizrate von 2 °C/min an der Luft kalziniert. Eine 2,5-Gramm-Menge einer ionenausgetauschten kalzinierten Ge-ZSM-5 -Probe wurde unter Vakuum mit 0,0572 g NaNO_3 in 10 g entionisiertem Wasser in einem 100-ml-Rundkolben, der an einem Rotationsverdampfer angebracht war, imprägniert und in ein kochendes Wasserbad getaucht. Die Probe wurde über Nacht bei 90 °C getrocknet und 3 Stunden bei 500 °C an der Luft mit einer Heizrate von 5 °C/min kalziniert. Eine Menge von 2,46 g Na-Ge-ZSM-5 -Probe wurde mit 0,0529 g $(\text{NH}_3)_4\text{Pt}(\text{NO}_3)_2$ in 4 g entionisiertem Wasser in einem 100-ml-Rundkolben imprägniert, der an einem Rotationsverdampfer angebracht und in ein vorgewärmtes Wasserbad (65-70 °C) eingetaucht war. Die Probe wurde ungefähr 5 Minuten gerührt, dann wurde Vakuum angelegt und Wasser wurde in ungefähr 35 Minuten verdampft. Die Probe wurde über Nacht bei 90 °C getrocknet und an der Luft bei 280 °C drei Stunden lang mit einer Heizrate von 3 °C/min kalziniert. Die Elementaranalyse ergab 40,6 Gew.-% Si, 0,8 Gew.-% Al, 4,7 Gew.-% Ge, 0,5 Gew.-% Na und 1,1 Gew.-% Pt.

[0112] Katalysatortest. Katalysatoren, die durch die obigen Verfahren hergestellt wurden, wurden wie folgt getestet: 20-40 mesh (420 μm -840 μm) Katalysatorteilchen, gemischt mit 20-40 mesh inerten Siliciumcarbid (SiC)-Chips, wurden in einen Plug-Flow-Reaktor mit einem Außendurchmesser (OD) von 0,25 Zoll geladen. n-Hexan wurde bei einer Temperatur von ungefähr 150 °C zu einem Strom von fließendem Wasserstoff verdampft. Die stündliche Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit (LHSV) wurde bei ungefähr 8,6 h^{-1} mit einem Wasserstoff zu n-Hexan -Molverhältnis von 0,75 gehalten. Dieses Gasgemisch durchlief den Reaktor, der durch einen externen Heizmantel auf der angegebenen Reaktionstemperatur, d. h. ungefähr 515 °C, gehalten wurde.

[0113] Die Reaktionsprodukte wurden gaschromatographisch analysiert. Es wurden Produkte mit einer Größe von Methan bis Dimethylnaphthalin beobachtet. Die Umwandlung (X) ist als der Molenbruch der Summe

von Benzol, Toluol, Xylole und Ethylbenzol aller gewonnenen C₁-C₅- und C₇₊-Materialien definiert. Diese Umwandlung wird auf molarer C₆-Basis dargestellt und mit ihren Volumenänderungsfaktoren hinsichtlich der Beschickungszusammensetzung umgerechnet. Die angegebenen Selektivitäten (S) werden berechnet als die Summe der hergestellten Benzole, Toluole, Xylole und Ethylbenzole geteilt durch die Summe der Benzole, Toluole, Xylole und Ethylbenzole und aller gewonnenen C₁-C₅- und C₇₊-Materialien. Eine Vielzahl von C₆-Isomerisierungsprodukten wurde beobachtet, einschließlich Isohexanen (zum Beispiel 2-Methylpentan) und deren Olefinen (zum Beispiel 2-Methylpenten). Die Isomerisierung (I) ist der Molenbruch der Summe von 2-Methylpentan, 3-Methylpentan, 2,2-Dimethylbutan, 2,3-Dimethylbutan, 2-Methylpenten, 3-Methylpenten, 2,2-Dimethylbuten, 2,3-Dimethylbuten und Iso-C₆-Dienen. Die Werte für Umwandlung (X₅₀), Selektivität (S₅₀) und Isomerisierung (I₅₀) nach 50 Stunden im Strom sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1. Katalysator, Bildungsbedingungen und Leistung

Katalysator	Katalysatorbeschreibung	X ₅₀	S ₅₀	I ₅₀
A (vergleichend)	Pt/Cs-Ge-ZSM-5	22	94	2,6
B	Pt/Na/CsGe-ZSM-5 (Na-Imprägnierung auf ionenrückausgetauschtem Na)	32	95	6
C	Pt/Na-Cs-Ge-ZSM-5 (Na-Ionen-Rückaustausch 1)	22	94	21
D	Pt/Na-Cs-Ge-ZSM-5 (Na-Ionen-Rückaustausch 2)	29	94	14
E	Pt/Na/Ge-ZSM-5 (nur Na durch Imprägnierung)	28	94	19

[0114] Die Katalysatoren A, C und D wurden auch unter variierenden Isohexan- und n-Hexanmengen im Bereich von 100 % n-Hexan bis 36 % n-Hexan und 64 % Isohexanen bei einer stündlichen Flüssigkeitsraumgeschwindigkeit LHSV von 2 h⁻¹ bei einer Temperatur von 535 °C bewertet. Die Ergebnisse dieser Experimente sind in **Fig. 1** gezeigt. **Fig. 1** zeigt die Benzolausbeute bei unterschiedlichem Verhältnis von Isomer zu n-Hexan (C₆). Die Bedeutung der relativen Isomerisierungs- und Aromatisierungsraten wird anhand der Figur deutlich. Katalysator A zeigt die niedrigste Benzolausbeute bei höheren Isohexankonzentrationen, während der Katalysator mit verbesserter Isomerisierungsaktivität zu höheren Ausbeuten führt. Schließlich zeigte Katalysator D, der höhere Isomerisierungs- und Aromatisierungsaktivitäten aufwies, die höchsten Gesamtausbeuten über alle getesteten Zusammensetzungen.

[0115] Die gesamte Raumzeitausbeute (Tonne Benzol pro Tonne Katalysator pro Stunde) für die Katalysatoren A, C und D ist in **Fig. 2** bei einem LHSV von 2 h⁻¹, einer Temperatur von 510 °C und einem Verhältnis von Isohexan zu Normalhexan von 1,75 gezeigt. Wenn die Isomerisierungs- und Aromatisierungsaktivitäten anschließend jeweils erhöht werden, erhöht sich die Gesamtsumme der Raumzeitausbeute von Benzol entsprechend.

[0116] Wenn die Isomerisierungs- und Aromatisierungsaktivitäten anschließend jeweils erhöht werden, erhöht sich die Gesamtsumme der Raumzeitausbeute von Benzol entsprechend.

Definitionen

[0117] Es versteht sich auch, dass die hier verwendete Terminologie nur zum Zweck der Beschreibung bestimmter Aspekte dient und nicht einschränkend sein soll. Wie in der Beschreibung und in den Ansprüchen verwendet, kann der Begriff „umfassend“ die Ausführungsformen „bestehend aus“ und „im Wesentlichen bestehend aus“ umfassen. Sofern nicht anders definiert, haben alle hier verwendeten technischen und wissenschaftlichen Begriffe die gleiche Bedeutung, wie sie von einem Durchschnittsfachmann, auf den sich diese Offenbarung bezieht, allgemein verstanden wird. In dieser Beschreibung und in den folgenden Ansprüchen wird auf eine Reihe von Begriffen Bezug genommen, die hier definiert werden sollen.

[0118] Wie hierin verwendet, umfasst der Begriff „Kombination“ Mischungen, Gemische, Legierungen, Reaktionsprodukte und dergleichen.

[0119] Bereiche können hier als von einem Wert (erstem Wert) zu einem anderen Wert (zweitem Wert) gehend ausgedrückt werden. Wenn ein solcher Bereich ausgedrückt wird, umfasst der Bereich in einigen Aspekten einen oder beide des ersten Wertes und des zweiten Werts. In ähnlicher Weise wird verstanden, wenn der Wert unter Verwendung des vorhergehenden ungefähr ausgedrückt wird, dass der bestimmte Wert einen anderen

Aspekt bildet. Es versteht sich ferner, dass die Endpunkte jedes der Bereiche sowohl in Bezug auf den anderen Endpunkt als auch unabhängig vom anderen Endpunkt signifikant sind. Es versteht sich auch, dass es eine Anzahl von hierin offenbaren Werten gibt und dass jeder Wert hierin zusätzlich als „ungefährer“ Wert dieses bestimmten Wertes offenbart wird. Wenn zum Beispiel der Wert „10“ offenbart wird, wird auch „ungefähr 10“ offenbart. Es versteht sich auch, dass jede Einheit zwischen zwei bestimmten Einheiten ebenfalls offenbart ist. Wenn beispielsweise 10 und 15 offenbart sind, werden auch 11, 12, 13 und 14 offenbart.

[0120] Wie hierin verwendet, bedeuten die Begriffe „ungefähr“ und „von oder ungefähr“, dass der fragliche Betrag oder Wert der benannte Wert, ungefähr der benannte Wert oder ungefähr derselbe wie der benannte Wert sein kann. Es wird allgemein verstanden, wie hierin verwendet, dass es sich um den angegebenen Nennwert von $\pm 10\%$ Abweichung handelt, sofern nicht anders angegeben oder abgeleitet. Der Begriff soll vermitteln, dass ähnliche Werte gleichwertige Ergebnisse oder Wirkungen fördern, die in den Ansprüchen aufgeführt sind. Das heißt, es versteht sich, dass Mengen, Größen, Formulierungen, Parameter und andere Mengen und Eigenschaften nicht genau sind und nicht genau sein müssen, sondern je nach Wunsch ungefähr und/oder größer oder kleiner sein können, was Toleranzen, Umrechnungsfaktoren und Abrundungen, Messfehler und dergleichen und andere Faktoren, die dem Fachmann bekannt sind, widerspiegelt. Im Allgemeinen ist eine Menge, Größe, Formulierung, ein Parameter oder eine andere Menge oder Eigenschaft „ungefähr“ oder „annähernd“, unabhängig davon, ob dies ausdrücklich angegeben ist oder nicht. Es versteht sich, dass, wenn „ungefähr“ vor einem quantitativen Wert verwendet wird, der Parameter auch den spezifischen quantitativen Wert selbst enthält, sofern nicht ausdrücklich anders angegeben.

[0121] Wie hierin verwendet, bedeuten die Begriffe „optional“ oder „wahlweise“, dass das nachfolgend beschriebene Ereignis oder der nachfolgend beschriebene Umstand eintreten kann oder nicht und dass die Beschreibung Fälle umfasst, in denen das Ereignis oder der Umstand eintritt, und Fälle, in denen dies nicht der Fall ist. Beispielsweise bedeutet der Ausdruck „optionale zusätzliche Additive“, dass die zusätzlichen Additive enthalten sein können oder nicht und dass die Beschreibung Zusammensetzungen enthält, die zusätzliche Additive enthalten und nicht enthalten.

[0122] Verweise in der Beschreibung und abschließende Ansprüche auf Gewichtsteile eines bestimmten Elements oder einer bestimmten Komponente in einer Zusammensetzung oder einem Artikel bezeichnen die Gewichtsbeziehung zwischen dem Element oder der Komponente und anderen Elementen oder Komponenten in der Zusammensetzung oder dem Artikel, für die ein Gewichtsteil ausgedrückt ist. Somit sind in einer Verbindung, die 2 Gewichtsteile der Komponente X und 5 Gewichtsteile der Komponente Y enthält, X und Y in einem Gewichtsverhältnis von 2 : 5 vorhanden und in einem solchen Verhältnis vorhanden, unabhängig davon, ob zusätzliche Komponenten in der Verbindung enthalten sind.

[0123] Ein Gewichtsprozentanteil einer Komponente basiert, sofern nicht ausdrücklich anders angegeben, auf dem Gesamtgewicht der Formulierung oder Zusammensetzung, in der die Komponente enthalten ist. Wie hierin verwendet, geben die Begriffe „Gewichtsprozent“, „Gew-%“ und „Gew.-%“, die austauschbar verwendet werden können, den Gewichtsprozentsatz einer bestimmten Komponente basierend auf dem Gesamtgewicht der Zusammensetzung an, sofern nicht anders angegeben. Das heißt, sofern nicht anders angegeben, basieren alle Gew.-%-Werte auf dem Gesamtgewicht der Zusammensetzung. Es versteht sich, dass die Summe der Gew.-%-Werte für alle Komponenten in einer offenbaren Zusammensetzung oder Formulierung gleich 100 ist.

[0124] Sofern hierin nicht anders angegeben, sind alle Teststandards die neuesten Standards, die zum Zeitpunkt der Einreichung dieser Anmeldung in Kraft waren. Jedes der hierin offenbaren Materialien ist entweder im Handel erhältlich und/oder die Verfahren zu ihrer Herstellung sind dem Fachmann bekannt. Es versteht sich, dass die hierin offenbaren Zusammensetzungen bestimmte Funktionen haben. Hierin offenbart sind bestimmte strukturelle Anforderungen zum Ausführen der offenbaren Funktionen, und es versteht sich, dass es eine Vielzahl von Strukturen gibt, die dieselbe Funktion ausführen können, die mit den offenbaren Strukturen zusammenhängen, und dass diese Strukturen typischerweise das gleiche Ergebnis erzielen.

[0125] In diesem Dokument sollten Werte, die in einem Bereichsformat ausgedrückt werden, flexibel interpretiert werden, um nicht nur die explizit als Grenzen des Bereichs angegebenen numerischen Werte einzuschließen, sondern auch alle einzelnen numerischen Werte oder Unterbereiche, die in diesem Bereich enthalten sind, als ob jeder numerische Wert und Unterbereich explizit angegeben wird. Beispielsweise sollte ein Bereich von „ungefähr 0,1 % bis ungefähr 5 %“ oder „ungefähr 0,1 % bis 5 %“ so interpretiert werden, dass er nicht nur ungefähr 0,1 % bis ungefähr 5 % umfasst, sondern auch die einzelnen Werte (z. B. 1 %, 2 %, 3 % und 4 %) und die Unterbereiche (z. B. 0,1 % bis 0,5 %, 1,1 % bis 2,2 %, 3,3 % bis 4,4 %) innerhalb des angegebenen Bereichs. Die Aussage „ungefähr X bis Y“ hat dieselbe Bedeutung wie „ungefähr X bis ungefähr Y“, sofern

nicht anders angegeben. Ebenso hat die Aussage „ungefähr X, Y oder ungefähr Z“ die gleiche Bedeutung wie „ungefähr X, ungefähr Y oder ungefähr Z“, sofern nicht anders angegeben. Der Begriff „ungefähr“, wie er hier verwendet wird, kann einen Grad an Variabilität in einem Wert oder Bereich ermöglichen, beispielsweise innerhalb von 10 %, innerhalb von 5 % oder innerhalb von 1 % eines angegebenen Wertes oder einer angegebenen Grenze eines Bereichs, und enthält den genau angegebenen Wert oder Bereich. Der Begriff „im Wesentlichen“, wie er hier verwendet wird, bezieht sich auf eine Mehrheit oder meistens auf mindestens ungefähr 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %, 95 %, 96 %, 97 %, 98 %, 99 %, 99,5 %, 99,9 %, 99,99 % oder mindestens 99,999 % oder mehr oder 100 %. Während „ungefähr“ eine gewisse Toleranz zulässt, würde ein Durchschnittsfachmann die Spezifikation im Lichte seines Wissens und seiner Fähigkeiten lesen, um sich über das Niveau dieser Toleranz zu informieren und in angemessenem Maße über die Ziele und Grenzen der Ansprüche informiert sein.

[0126] In diesem Dokument werden die Begriffe „ein(e)“ oder „der/die/das“ verwendet, um eine(n) oder mehrere einzuschließen, sofern der Kontext nicht eindeutig etwas anderes vorschreibt. Der Begriff „oder“ bezieht sich auf ein nichtausschließliches „Oder“, sofern nicht anders angegeben. Die Aussage „mindestens eine(s) von A und B“ hat die gleiche Bedeutung wie „A, B oder A und B.“ Darüber hinaus versteht es sich, dass die hier verwendete und nicht anderweitig definierte Ausdrucksweise oder Terminologie nur zum Zweck der Beschreibung und nicht der Einschränkung dient. Die Verwendung von Abschnittsüberschriften soll das Lesen des Dokuments erleichtern und ist nicht als einschränkend zu interpretieren. Informationen, die für eine Abschnittsüberschrift relevant sind, können innerhalb oder außerhalb dieses bestimmten Abschnitts auftreten.

[0127] Bei den hier beschriebenen Verfahren können die Handlungen in beliebiger Reihenfolge ausgeführt werden, ohne von den Grundsätzen der Offenbarung abzuweichen, außer wenn eine zeitliche oder operative Abfolge ausdrücklich angegeben wird. Darüber hinaus können bestimmte Handlungen gleichzeitig ausgeführt werden, es sei denn, in der expliziten Anspruchssprache wird angegeben, dass sie separat ausgeführt werden. Beispielsweise können eine beanspruchte Handlung, X zu tun, und eine beanspruchte Handlung, Y zu tun, gleichzeitig innerhalb einer einzelnen Operation ausgeführt werden, und der resultierende Prozess fällt in den wörtlichen Bereich des beanspruchten Prozesses.

[0128] Wie hierin verwendet, bezieht sich der Begriff Aromatisierung auf einen katalytischen Prozess der Umwandlung von Alkanen, insbesondere leichten Alkanen, in Aromaten. Eine leichte Alkanaromatisierung kann aromatische Kohlenwasserstoffe mit höherem Wert wie Benzol, Toluol und Xylol liefern.

[0129] Der Begriff „Katalysator“ bezeichnet eine Substanz, die die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion verändert. „Katalytisch“ bedeutet, die Eigenschaften eines Katalysators aufzuweisen.

[0130] Der Begriff „Umwandlung“ bezeichnet den Molenbruch (d. h. Prozent) eines Reaktanten, der in ein Produkt oder Produkte umgewandelt wurde. Wie hierin verwendet, bezieht sich der Begriff „Selektivität“ auf den Prozentsatz des umgewandelten Reaktanten, der zu einem bestimmten Produkt gelangt ist, beispielsweise ist die 1-Butenselektivität der Prozentsatz des Butans, der in 1-Buten umgewandelt wurde.

[0131] Wie hierin verwendet, wird der Begriff „ungefähr“ oder „annähernd“ so definiert, dass er dem Verständnis des Durchschnittsfachmanns nahe kommt. In einem nicht einschränkenden Aspekt werden die Begriffe so definiert, dass sie innerhalb von 10 %, bevorzugt innerhalb von 5 %, stärker bevorzugt innerhalb von 1 % und am stärksten bevorzugt innerhalb von 0,5 % liegen.

[0132] Der Begriff „im Wesentlichen“ und seine Variationen umfassen Bereiche innerhalb von 10 %, innerhalb von 5 %, innerhalb von 1 % oder innerhalb von 0,5 %.

[0133] Alle hier erwähnten Veröffentlichungen werden hiermit durch Bezugnahme aufgenommen, um die Verfahren und/oder Materialien zu offenbaren und zu beschreiben, in Verbindung mit denen die Veröffentlichungen zitiert werden. Die obige Beschreibung soll veranschaulichend und nicht einschränkend sein. Beispielsweise können die oben beschriebenen Beispiele (oder ein oder mehrere Aspekte davon) in Kombination miteinander verwendet werden. Andere Ausführungsformen können verwendet werden, beispielsweise von einem Durchschnittsfachmann nach Durchsicht der obigen Beschreibung. In der obigen detaillierten Beschreibung können auch verschiedene Merkmale zusammengefasst werden, um die Offenbarung zu rationalisieren. Dies sollte nicht dahingehend interpretiert werden, dass ein nicht beanspruchtes, offengelegtes Merkmal für einen Anspruch wesentlich ist. Der erfinderische Gegenstand kann vielmehr in weniger als allen Merkmalen einer bestimmten offenbarten Ausführungsform liegen. Somit werden die folgenden Ansprüche hiermit als Beispiele oder Ausführungsformen in die detaillierte Beschreibung aufgenommen, wobei jeder Anspruch für sich als separate Ausführungsform steht, und es wird in Betracht gezogen, dass solche Ausführungsformen in verschie-

denen Kombinationen oder Permutationen miteinander kombiniert werden können. Der Umfang der Offenbarung sollte unter Bezugnahme auf die beigefügten Ansprüche zusammen mit dem vollen Umfang der Äquivalente bestimmt werden, zu denen solche Ansprüche berechtigt sind.

[0134] Während typische Aspekte zum Zwecke der Veranschaulichung dargelegt wurden, sollten die vorstehenden Beschreibungen nicht als Einschränkung des hierin enthaltenen Umfangs angesehen werden. Dementsprechend können dem Fachmann verschiedene Modifikationen, Anpassungen und Alternativen einfallen, ohne vom Geist und Umfang dieser Patentschrift abzuweichen.

[0135] Dem Fachmann ist klar, dass in der vorliegenden Offenbarung verschiedene Modifikationen und Variationen vorgenommen werden können, ohne vom Umfang oder Geist der Offenbarung abzuweichen. Andere Ausführungsformen der Offenbarung werden dem Fachmann unter Berücksichtigung der hier offenbarten Beschreibung und Praxis der Offenbarung ersichtlich sein. Es ist beabsichtigt, dass die Beschreibung und die Beispiele nur als beispielhaft betrachtet werden, wobei ein wahrer Umfang und Geist der Offenbarung durch die folgenden Ansprüche angegeben wird.

[0136] Der patentierbare Umfang der Offenbarung wird durch die Ansprüche definiert und kann andere Beispiele umfassen, die dem Fachmann einfallen. Solche anderen Beispiele sollen in den Umfang der Ansprüche fallen, wenn sie strukturelle Elemente aufweisen, die sich nicht von der wörtlichen Sprache der Ansprüche unterscheiden, oder wenn sie äquivalente strukturelle Elemente mit unwesentlichen Unterschieden zu den Wortlauten der Ansprüche enthalten.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 6784333 [0003]
- US 8722950 [0004]
- US 7902413 [0005]
- US 2016/0288108 [0006]
- US 7901413 [0019]

Patentansprüche

1. Katalysator, umfassend:
Einen Zeolith, der ein Gerüst und ein Edelmetall umfasst, wobei das Gerüst Silicium und Aluminium umfasst; wobei (a) der Zeolith mindestens einem ersten Austausch mit einem Kation der Gruppe I oder II oder einem Ammoniumkation unterzogen wurde und (b) der Zeolith danach mit einem zweiten Kation der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht wird, wobei der Schritt des Inkontaktbringens eine Austausch-, beginnende Nässe- oder Trockenimprägnierung umfasst.
2. Katalysator, umfassend:
einen Zeolith, der ein Gerüst und ein am Zeolithen abgeschiedenes Edelmetall umfasst, wobei das Gerüst Silicium und Aluminium umfasst, wobei der Zeolith ferner Cäsium- und Natriumionen umfasst.
3. Katalysator nach einem der Ansprüche 1-2, wobei das Gerüst ferner ein Metalloid umfasst.
4. Katalysator nach einem der Ansprüche 1-3, wobei das Gerüst ferner Germanium umfasst.
5. Katalysator nach Anspruch 4, wobei der Zeolith ungefähr 0,2 Gew.-% bis ungefähr 10 Gew.-% Germanium umfasst.
6. Katalysator nach einem der Ansprüche 1-5, wobei der Zeolith MFI, BEA, MOR oder LTL ist.
7. Katalysator nach einem der Ansprüche 1-5, wobei der Zeolith ZSM-5 ist.
8. Katalysator nach einem der Ansprüche 1-7, wobei das Kation der Gruppe I oder II Cäsium ist.
9. Katalysator nach einem der Ansprüche 1-7, wobei das Kation der Gruppe I oder II Natrium ist.
10. Katalysator nach einem der Ansprüche 1-9, wobei der Zeolith ein Molverhältnis von Alkalimetall zu Aluminiumoxid im Zeolithgerüst von 0,7 bis 1,5 infolge des Inkontaktbringens des Zeolithen mit einem Kation der Gruppe I oder II in Schritt (b) zeigt.
11. Katalysator nach einem der Ansprüche 1-10, wobei mehr als 50 % der Kationen der Gruppe I oder II durch das zweite Kation der Gruppe I oder II ersetzt werden, wenn der Zeolith danach in Schritt (b) mit dem zweiten Kation der Gruppe I oder II in Kontakt gebracht wird.
12. Katalysator nach einem der Ansprüche 1-11, wobei das Edelmetall Platin umfasst.
13. Katalysator nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei das Edelmetall in einer Menge von 0,02 Gew.-% bis 2 Gew.-% bezogen auf das Gesamtgewicht des Katalysators vorhanden ist.
14. Katalysator nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei der Katalysator zur Aromatisierung und/oder Isomerisierung von Alkanen geeignet ist und wobei mindestens ein Teil der Alkane weniger als sechs lineare Kohlenstoffatome aufweist.
15. Verfahren zur Herstellung eines Katalysators, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:
Inkontaktbringen eines Aluminium-Silicium-Germanium-Zeolithen mit einem ersten Ion, um einen ersten ionenausgetauschten Zeolithen bereitzustellen, wobei das erste Ion ein Alkalimetall oder ein Ammoniumion umfasst; Inkontaktbringen des ersten ionenausgetauschten Zeolithen mit einem zweiten Ion, um einen zweiten ionenhaltigen Zeolithen bereitzustellen; und Inkontaktbringen des zweiten ionenhaltigen Zeolithen mit mindestens einem Edelmetallion.
16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das zweite Ion ein Alkalimetallion umfasst.
17. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das erste Ion Cäsium- oder Ammoniumionen umfasst.
18. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das zweite Ion Natriumionen umfasst.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, wobei das Edelmetallion Platin umfasst.

20. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Inkontaktbringen des ersten ionenausgetauschten Zeolithen mit einem zweiten Metallion einen Prozess des Ionenaustauschs, der beginnenden Nässeimprägnierung oder der Trockenimprägnierung umfasst.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

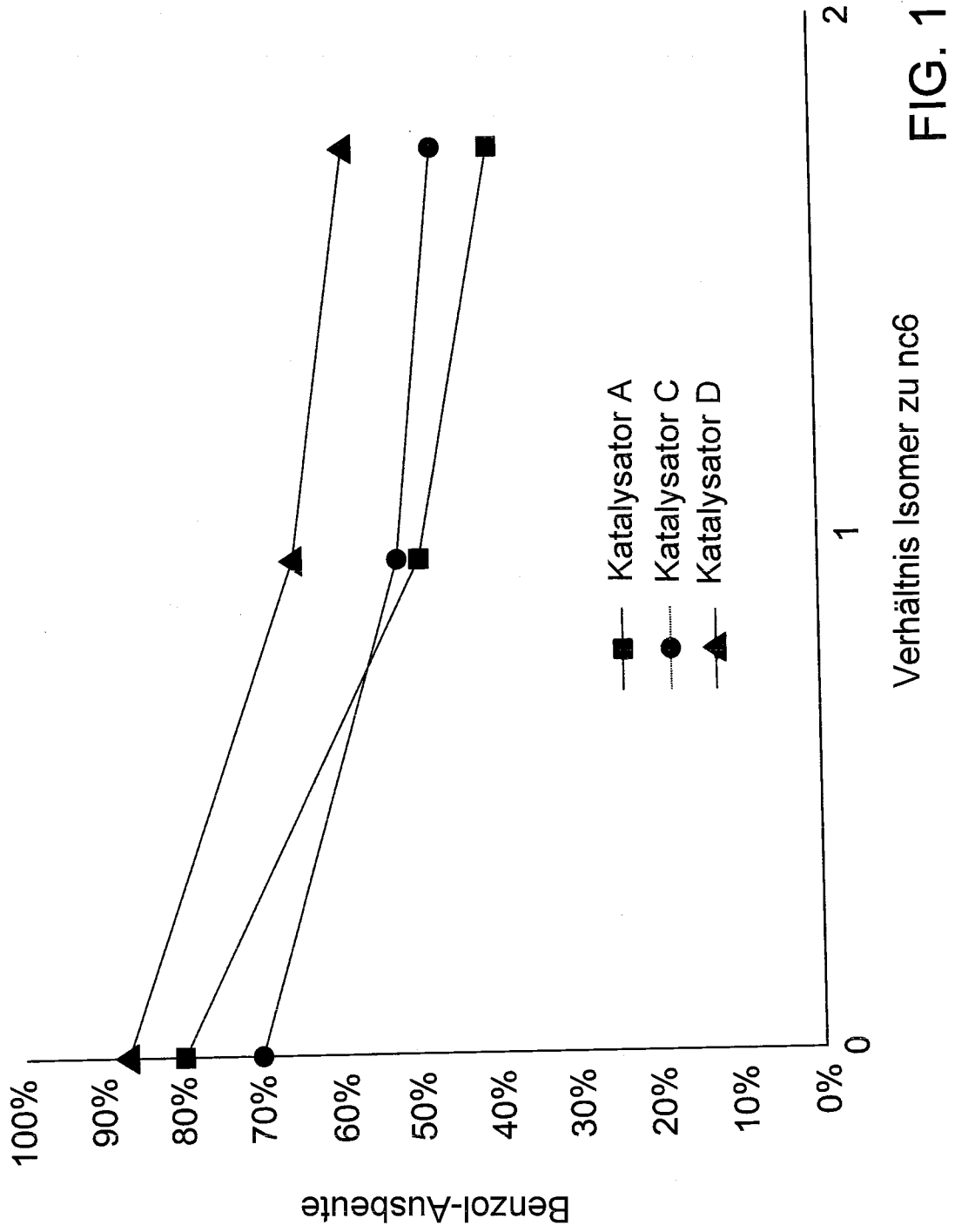


FIG. 1

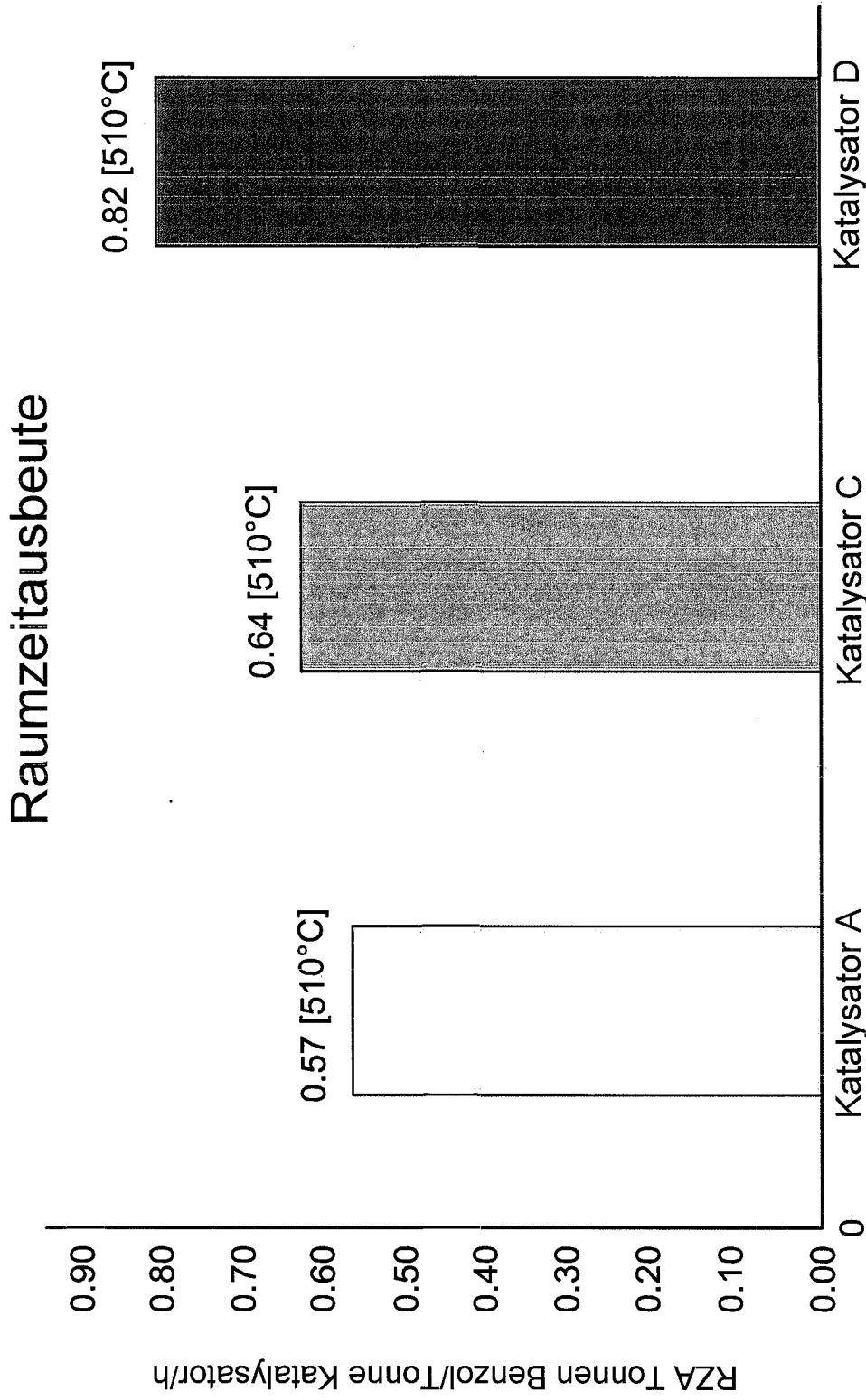


FIG. 2