

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
12. Juli 2007 (12.07.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/076740 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2006/002009

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. November 2006 (16.11.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2005 061 985.1
23. Dezember 2005 (23.12.2005) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH**
[DE/DE]; Wilhelm-Johnen-Strasse, 52425 Jülich (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **REINECKE,**
Ernst-Arndt [DE/DE]; Am Förderturm 45, 52146
Würselen (DE). **TRAGSDORF, Inga, Maren** [DE/DE];
Eckener Strasse 79e, 52078 Aachen (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **FORSCHUNGSZENTRUM**
JÜLICH GMBH; Fachbereich Patente, 52425 Jülich
(DE).

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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,
NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: CATALYST FOR THE RECOMBINATION OF HYDROGEN WITH OXYGEN

(54) Bezeichnung: KATALYSATOR FÜR DIE REKOMBINATION VON WASSERSTOFF MIT SAUERSTOFF

(57) Abstract: Large quantities of explosive hydrogen-oxygen mixtures can be produced by leaks or accidents in technical plants, e.g. nuclear reactors. The invention relates to a catalyst, a catalyst system, an arrangement for recombining hydrogen with oxygen, and a method for producing a catalyst. The inventive catalyst is characterized in that the ignition point of the mixture is exceeded under no circumstances even though the catalyst works in a strictly passive manner without outside intervention and the recombination is an exothermal reaction. The basic idea is to design the catalyst such that the catalyst autonomously limits the activity thereof in accordance with the prevailing temperature.

(57) Zusammenfassung: In technischen Anlagen, wie beispielsweise Kernreaktoren, können durch Leckagen oder Störfälle große Mengen zündfähiger Gemische aus Wasserstoff und Luft entstehen. Die Erfindung stellt einen Katalysator, ein Katalysatorsystem und eine Anordnung für die Rekombination von Wasserstoff mit Sauerstoff sowie ein Herstellungsverfahren für einen Katalysator zur Verfügung. Der erfindungsgemäße Katalysator ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zündtemperatur des Gemisches unter keinen Umständen überschritten wird, obwohl er ohne Eingriff von außen rein passiv arbeitet und die Rekombination eine exotherme Reaktion ist. Der Grundgedanke ist, den Katalysator so auszugestalten, dass er sich abhängig von der Temperatur selbst in seiner Aktivität begrenzt.



WO 2007/076740 A2

B e s c h r e i b u n g
Katalysator für die Rekombination von
Wasserstoff mit Sauerstoff

Die Erfindung betrifft einen Katalysator, ein Katalysatorsystem und eine Anordnung für die Rekombination von Wasserstoff mit Sauerstoff sowie ein Herstellungsverfahren für einen Katalysator.

5 Stand der Technik

Wasserstoff wird in zahlreichen industriellen Prozessen in großen Mengen eingesetzt. Das Hauptproblem beim Umgang mit Wasserstoff ist die Vermeidung zündfähiger Gasgemische. Gemische von Wasserstoff mit Luft sind innerhalb eines sehr
10 weiten Konzentrationsbereichs zwischen 4 und 75 Volumenprozent Wasserstoff zündfähig. Die Selbstentzündungstemperatur eines Wasserstoff-Luft-Gemisches beträgt etwa 560 °C.

Während die Entstehung zündfähiger Gemische im normalen technischen Betriebsablauf vermieden wird, entstehen solche
15 Gemische auch außerhalb der Prozesse in Folge von Leckagen oder Betriebsstörungen. Aber auch in Kernreaktoren kann bei Störfällen mit Kernschmelzen Wasserstoff in einer Größenordnung von 10000 Norm-Kubikmetern gebildet werden. Dieser kann mit dem im Sicherheitsbehälter vorhandenen Luftsauerstoff
20 ein zündfähiges Gemisch bilden, das eine Bedrohung für die Integrität des Sicherheitsbehälters darstellt.

Gerade in einem Kernreaktor ist es auf Grund gesetzlicher und genehmigungsrechtlicher Gründe zwingend ausgeschlossen, im Schadensfall die Atmosphäre auszutauschen und das zündfähige Gemisch so auf eine ungefährliche Wasserstoffkonzentration zu verdünnen. Als Sicherheitsvorkehrungen kommen daher
25 so genannte Rekombinatoren zum Einsatz. Diese magern das

Gemisch ab, indem der Wasserstoff in einer exothermen Reaktion mit dem Luftsauerstoff zu Wasserdampf umgesetzt wird. Diese Rekombinatoren können ein Katalysatormaterial enthalten, so dass Wasserstoff und Sauerstoff auch unterhalb der Zündtemperatur in ungefährlicher Weise miteinander reagieren.

Nachteilig kann durch die enorme Rekombinationswärme von etwa 242 kJ/mol der Rekombinator überhitzen und somit selbst zur Zündquelle werden. Rekombinatoren werden daher häufig nur unterhalb der Zündgrenze von 4 Volumenprozent Wasserstoff eingesetzt oder durch den Einbau von Diffusionssperren leistungsmäßig begrenzt. Beispiele hierfür sind aus K. Ledjeff, „Elimination of hydrogen or oxygen from explosive mixtures by catalytic techniques“, International Journal of Hydrogen Energy 1987, Heft 12, Nr. 5, Seiten 361-367, sowie aus der DE 199 14 814 C1 bekannt. Dadurch verbleiben jedoch gerade explosive und damit gefährliche Gemische sehr lange im Sicherheitsbehälter.

Aus der DE 197 22 305 sowie der DE 198 52 953 sind technisch weiter entwickelte Rekombinatoren mit passiven Wärme aufnehmenden und speichernden Einbauten sowie Kühlsystemen bekannt, die dem Überhitzungsproblem entgegen wirken sollen. Da diese Einbauten und Systeme jedoch nicht für jeden denkbaren Betriebsfall auslegbar sind, kann auch hier eine Überhitzung mit möglicherweise katastrophalen Folgen nicht ausgeschlossen werden.

Zudem ist ein Rekombinator bis zu seinem möglichen Einsatz für unter Umständen sehr lange Zeiträume der Umgebungsatmosphäre ausgesetzt. Während dieser Standzeit können nachteilig Verunreinigungen aus der Umgebung den Katalysator vergiften, so dass die Rekombination erst mit erheblicher Verzögerung in vollem Umfang anläuft. Rekombinatoren müssen daher regelmäßig gewartet werden.

Aufgabe und Lösung

Aufgabe der Erfindung ist daher, Mittel zur Verfügung zu stellen, mit denen Wasserstoff und Sauerstoff rekombiniert werden können, wobei gewährleistet ist, dass unabhängig von

5 Konzentration und Homogenität des Wasserstoffs die Temperatur unter keinen Umständen eine vorgegebene Grenztemperatur überschreitet. Diese Mittel sollen auch nach längerer Standzeit unverzüglich ihre volle Leistungsfähigkeit zur Verfügung stellen.

10 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Katalysator gemäß Hauptanspruch, ein Katalysatorsystem gemäß Nebenanspruch, eine Anordnung gemäß Nebenanspruch sowie ein Verfahren gemäß weiterem Nebenanspruch. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich jeweils aus den darauf rückbe-

15 zogenen Unteransprüchen.

Gegenstand der Erfindung

Im Rahmen der Erfindung wurde ein Katalysator gefunden, welcher ein katalytisch aktives Material enthält, das die katalytische Rekombination von Wasserstoff mit Sauerstoff unter-

20 stützt. Dieses aktive Material ist in eine Matrix aus einem Metalloxid eingebettet. Es wurde erkannt, dass sich die Rekombinationsrate dieses Katalysators selbst begrenzen kann, so dass die Temperatur des Katalysators auch bei einem noch so großen Angebot an Wasserstoff oder Sauerstoff einen vorge-

25 gegebenen Grenzwert nicht überschreitet.

Damit in dem erfindungsgemäßen Katalysator eine Rekombination zwischen Wasserstoff und Sauerstoff dauerhaft aufrechterhalten werden kann, muss eine Vielzahl an Prozessen ablaufen. Beispielsweise muss Wasserstoff durch die Matrix aus

30 Metalloxid zum aktiven Material vordringen. Sauerstoff muss aus dem Metalloxid gelöst werden, um mit dem Wasserstoff reagieren zu können. Der verbrauchte Sauerstoff muss inner-

halb der Matrix zum aktiven Material nachdiffundieren und
letzten Endes auch von außen in die Matrix hineindiffundie-
ren, damit die Rekombination nicht schon nach kurzer Zeit
mangels Sauerstoff erlischt. Alle Prozesse, die für eine
5 Aufrechterhaltung der Rekombination erforderlich sind, wei-
sen Geschwindigkeiten auf, die von der Temperatur abhängen.
Der Grundgedanke der Erfindung ist, dass nur ein einziger
dieser Prozesse sich bei erhöhter Temperatur verlangsamen
muss, um die Rekombinationsrate zu bremsen. In einer Reakti-
10 onskaskade aus Elementarprozessen bestimmt die langsamste
Teilreaktion die Geschwindigkeit des Gesamtablaufs.

Wird ein derartiger Katalysator einer wasserstoffhaltigen
Atmosphäre ausgesetzt, so produziert er durch die Rekombina-
tion Wärme, die zumindest zum Teil auch an die Umgebung ab-
15 gegeben wird. Zu einer gegebenen Wasserstoffkonzentration in
der Atmosphäre stellt sich somit eine stationäre Temperatur
ein, die einem Gleichgewicht zwischen Wärmeproduktion und
Wärmeabfuhr entspricht. Es ist zu erwarten, dass für geringe
Wasserstoffkonzentrationen diese stationäre Temperatur zu-
20 nächst mit der Wasserstoffkonzentration ansteigt. Ab einer
gewissen Wasserstoffkonzentration jedoch verhindert der oben
beschriebene Bremseffekt einen weiteren Anstieg der Rekombi-
nationsrate und damit der Wärmeproduktion, so dass die Tem-
peratur einen vorgegebenen Grenzwert auf keinen Fall über-
25 schreitet. Dieser Grenzwert kann im Katalysator über das
Design der Matrix sowie Art und Menge des in die Matrix ein-
gebetteten aktiven Materials festgeschrieben werden.

Somit kann ein derartiger Katalysator insbesondere in Kern-
reaktoren oder anderen großtechnischen Einrichtungen dazu
30 dienen, störfallbedingt auftretende große Mengen an Wasser-
stoff unschädlich zu machen. Dabei muss unter allen Umstän-
den gewährleistet sein, dass die Zündtemperatur des Gemi-
sches aus Wasserstoff und Luftsauerstoff nicht überschritten

wird. Über das Angebot an Wasserstoff entscheidet jedoch allein der vorliegende Störfall. Zudem ist vom schlimmsten Fall auszugehen, dass sämtliche aktiven Vorrichtungen für eine Temperaturbegrenzung oder Kühlung des Katalysators be-
5 dingt durch den Störfall nicht mehr funktionieren. Der erfindungsgemäße Katalysator wird auch in diesem schlimmsten Fall nicht wärmer als ursprünglich vorgegeben.

Besonders in explosionsgefährdeten Bereichen, wie beispielsweise einem Kernreaktor nach einer Kernschmelze, bietet die
10 erfindungsgemäße temperaturabhängige Bremsung der Rekombinationsrate Vorteile gegenüber einer immer wirksamen Bremsung, wie sie beispielsweise durch Verwendung geringerer Mengen an aktivem Material erzielt werden kann. Da vom Start weg die volle Rekombinationsrate des aktiven Materials zur Verfügung
15 steht, wird gegenüber einem Katalysator mit immer wirksamer Begrenzung der Rekombinationsrate pro Zeiteinheit wesentlich mehr Wasserstoff umgesetzt, ohne dass dadurch die Sicherheit der Anlage beeinträchtigt wird. Dadurch werden insbesondere explosionsgefährliche Gasgemische schnellstmöglich unter die
20 Explosionsgrenze abgemagert. Wird dagegen ein Katalysator mit immer wirksamer Begrenzung verwendet, verstreicht wertvolle Zeit, während der der akut explosionsgefährdete Zustand fortbesteht.

Durch Verwendung entsprechend vieler erfindungsgemäßer Katalysatoren, auf die die umzusetzende Wasserstoffmenge aufgeteilt wird, kann Wasserstoff mit einer vorgegebenen Rekombinationsrate umgesetzt werden unter der zusätzlichen Nebenbedingung, dass eine vorgegebene Maximaltemperatur nicht überschritten wird.

30 In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Matrix aus dem Metalloxid nur für Wasserstoff durchlässig. Dadurch wird gewährleistet, dass auch bei längerer Standzeit keine Katalysatorgifte aus der Umgebung an das

aktive Material gelangen. Die Dauerhaltbarkeit des Katalysators insbesondere bei nur sporadischem Betrieb wird somit deutlich verbessert. Zudem ist auch nach längerer Standzeit ein schnelles Anlaufen der Rekombination gewährleistet, da nicht erst Ablagerungen vom Katalysator entfernt werden müssen. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn der Katalysator nur im Störfall gebraucht wird, dann jedoch die Sicherheit der Anlage von ihm abhängt.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist das Metalloxid Molybdäntrioxid MoO_3 . Das Kristallgitter von Molybdäntrioxid besitzt eine Einlagerungsfähigkeit für molekularen Wasserstoff, die mit steigender Temperatur abnimmt. Überraschenderweise scheint dies auch die Wasserstoffzufuhr zu den katalytisch aktiven Zentren aus aktivem Material zu begrenzen. Es findet offensichtlich keine direkte Adsorption des Wasserstoffs aus der Gasphase an das aktive Material und damit auch keine direkte Oxidation statt. Da die Rekombinationsrate mit der temperaturabhängigen Wasserstoffkonzentration im Kristallgitter des Molybdäntrioxids abnimmt, begrenzt sie sich mit steigender Temperatur im Erfindungssinne selbst. Zudem lagert sich molekularer Wasserstoff auch unterhalb von 20 °C spontan in das Kristallgitter von Molybdäntrioxid ein, so dass auch bei Raumtemperatur ein schnelles Anlaufen der Rekombinationsreaktion gewährleistet ist. Geeignet sind aber auch andere Molybdänoxide.

Vorteilhaft ist das aktive Material ein Edelmetall, insbesondere ein Edelmetall aus der Gruppe Platin, Palladium, Rhenium, Rubidium, Rhodium und Iridium. Diese Edelmetalle befördern bekanntermaßen die Reaktion zwischen Wasserstoff und Sauerstoff und sind dabei vergleichsweise unempfindlich gegen Vergiftung durch Fremdstoffe aus der Umgebung.

Vorteilhaft ist der erfindungsgemäße Katalysator ein durchströmbarer Körper. Ein solcher Körper weist einen Eingang

und einen Ausgang auf. Wasserstoffhaltiges Gas wird ihm durch den Eingang zugeführt. Am Ausgang entströmt ihm ein Gas mit einem geringeren Wasserstoffgehalt.

5 Ein durchströmbarer Körper als Katalysator lässt sich beispielsweise in eine Rohrleitung integrieren. Da er eine große Oberfläche aufweist, wird die bei der Rekombination entstehende Wärme effektiv abgeführt, so dass bei vorgegebener Grenztemperatur eine große Menge Wasserstoff je Zeiteinheit umsetzbar ist. Als durchströmbare Körper sind insbesondere
10 poröse Körper und Schüttungen aus keramischen und metallischen Materialien geeignet. Diese gewährleisten bei einer Anwendung nach dem Prinzip der freien Konvektion eine ausreichende Durchströmung und/oder Umspülung, also hohe Stoff- und Wärmeübergangskoeffizienten bei geringen Druckverlusten,
15 und stellen einen intensiven Kontakt zwischen der zugeführten Atmosphäre und der Matrix mit dem aktiven Material sicher.

Der durchströmte Körper kann aus der Metalloxidmatrix bestehen, wodurch er großtechnisch besonders einfach herstellbar
20 ist. Alternativ kann er jedoch mit der Metalloxidmatrix beschichtet sein. Dadurch kann der Körper selbst aus einem preiswerten und mechanisch belastbaren Grundwerkstoff bestehen.

Vorteilhaft weist der durchströmbare Körper einen wabenförmigen Aufbau auf. Dies maximiert seine für die Rekombination nutzbare Oberfläche und bietet zugleich eine erhöhte mechanische Stabilität. Zudem lassen sich Wasserstoffumsatz und Grenztemperatur durch eine geeignete Anpassung der Wabengeometrie gezielt einstellen.

30 In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist der durchströmbare Körper koaxial angeordnete Strömungskanäle auf. Dadurch kann er auch in (zwangs-)durch-

strömten Systemen, wie beispielsweise Rohrleitungen, eingesetzt werden, ohne die Durchströmung des Systems übermäßig zu behindern.

5 Im Rahmen der Erfindung wurde ein Katalysatorsystem gefunden, bei der der Eingang eines durchströmbaren Körpers am Ausgang des anderen durchströmbaren Körpers angeordnet ist. Ein solches Katalysatorsystem ist besonders dazu geeignet, in einem (zwangs-)durchströmten System den Gasstrom komplett von Wasserstoff zu befreien, ohne dabei durch die Rekombina-
10 tionswärme das Gas zu zünden. Wasserstoff, der vom ersten durchströmbaren Körper wegen dessen Selbstbegrenzung nicht verarbeitet wird, gelangt zum zweiten oder einem weiteren durchströmbaren Körper, der mit weniger Wasserstoff beaufschlagt ist und daher noch nicht so warm ist wie der erste.
15 Er wird dort verarbeitet. Die Verarbeitung eines großen Wasserstoffangebots wird somit auf mehrere durchströmbare Körper automatisch so aufgeteilt, dass das Katalysatorsystem sich gleichmäßig erwärmt. Der Gesamtumsatz des Systems ergibt sich additiv aus den Einzelumsätzen.

20 Vorteilhaft sind die durchströmbaren Körper übereinander angeordnet. Dadurch wird der Gasstrom durch das Katalysatorsystem infolge thermischen Auftriebs beschleunigt. Pro Zeiteinheit kann somit vom Gesamtsystem mehr Wasserstoff abgebaut werden.

25 Im Rahmen der Erfindung wurde eine Anordnung aus einem durchströmten Gehäuse und einem erfindungsgemäßen durchströmbaren Körper oder Katalysatorsystem gefunden, bei dem der durchströmbare Körper oder das Katalysatorsystem quer zur Durchströmungsrichtung innerhalb des Gehäuses angeordnet
30 ist. Mit einer solchen Anordnung lässt sich der in einer Gasströmung enthaltene Wasserstoff vollständig entfernen oder zumindest bis unter die untere Zündgrenze abmagern, ohne die Durchströmung zu behindern. Dies ist besonders im

Fall zwangsdurchströmter Systeme, wie etwa in Abluftanlagen, wichtig. Derartige Abluftanlagen können Räume entlüften, in denen sich Druckbehälter mit brennbaren Gasen befinden oder in die unfall- oder störfallbedingt brennbare Gase eindringen, wie etwa Kernreaktoren, Garagen und Parkhäuser.

Im Rahmen der Erfindung wurde ein Verfahren zur Herstellung eines Katalysators für die Rekombination von Wasserstoff mit Sauerstoff gefunden. Bei diesem Verfahren wird ein katalytisch aktives Material in eine Matrix aus einem Metalloxid eingebettet. Es wurde erkannt, dass die Rekombinationsrate des so entstehenden Katalysators sich in einer Weise begrenzt, dass eine vorher festgelegte Temperatur niemals überschritten wird: Unter den vielen Prozessen, die zur Aufrechterhaltung der Rekombination erforderlich sind, gibt es mindestens einen, dessen Geschwindigkeit mit steigender Temperatur abnimmt. Ab einer gewissen Temperatur bestimmt dieser Prozess die Rekombinationsrate des gesamten Katalysators.

Vorteilhaft wird Molybdäntrioxid als Metalloxid gewählt. Die Matrix aus diesem Metalloxid ist nur für Wasserstoff durchlässig und lagert zudem auch bei Raumtemperatur spontan molekularen Wasserstoff ein. Dadurch wird zum Einen verhindert, dass Fremdstoffe das aktive Material während längerer Standzeiten vergiften, zum Anderen läuft die Rekombination auch bei geringen Temperaturen sofort in voller Stärke an.

Vorteilhaft wird ein Edelmetall als aktives Medium gewählt, insbesondere ein Edelmetall aus der Gruppe Platin, Palladium, Rhenium, Rubidium, Rhodium und Iridium. Diese Edelmetalle befördern bekanntermaßen die Reaktion zwischen Wasserstoff und Sauerstoff und sind dabei vergleichsweise unempfindlich gegen Vergiftung durch Fremdstoffe aus der Umgebung.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird ein Molybdäntrioxidpulver mit einem Edelmetallsalz, insbesondere Hexachloroplatinsäure oder Palladiumnitrat, imprägniert. Dieser Prozess ist großtechnisch besonders ein-
5 fach durchführbar. Zur Überführung der Edelmetallsalze in katalytisch aktives elementares Edelmetall wird das Pulver vorteilhaft bei Temperaturen unterhalb 800 °C kalziniert.

Alternativ können Molybdäntrioxid-Teilchen mit vorgeformten Edelmetall-Nanopartikeln aus einer wässrigen Dispersion be-
10 schichtet werden. Auf diese Weise lässt sich das Edelmetall besonders fein auf und in der Matrix verteilen, so dass für eine vorgegebene Rekombinationsrate des Katalysators weniger teures Edelmetall erforderlich ist als nach dem Stand der Technik.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird ein offenporiger Körper mit einem edelmetallhaltigen Molybdäntrioxid imprägniert. Beim Imprägnieren werden auch schwer zugängliche Stellen eines durchströmbaren offenpori-
15 gen Körpers erreicht. Nicht im oder auf dem Körper angelagertes Molybdänoxid geht dabei nicht verloren, sondern kann
20 zur Beschichtung des nächsten Körpers weiterverwendet werden.

Vorteilhaft wird der Körper mit einer wasserbasierten Beschichtungssuspension in Kontakt gebracht. Wasser ist ein
25 preiswertes und zugleich umweltverträgliches Lösungsmittel.

Vorteilhaft wird der Beschichtungssuspension ein organisches Polymer, wie beispielsweise Polyacrylsäure, zugesetzt. Dieses Polymer stabilisiert die Suspension und führt zu einer Ausbildung von Poren innerhalb der Schicht.

Vorteilhaft wird der Beschichtungssuspension ein keramischer Haftvermittler zugesetzt, beispielsweise in Form eines Böhmit-Sols (AlOOH). Dieses verfestigt die molybdänoxidhaltige

30

Schicht auf der Trägeroberfläche, insbesondere wenn diese zwecks Aktivierung vorteilhaft bei Temperaturen unterhalb 800 °C kalziniert und getempert wird.

Spezieller Beschreibungsteil

5 Nachfolgend wird der Gegenstand der Erfindung anhand von Figuren näher erläutert, ohne dass der Gegenstand der Erfindung dadurch beschränkt wird. Es ist gezeigt:

Figur 1: Durchströmte Anordnungen mit Katalysatorsystemen.
Figur 2: (Figur 3 aus EM) Herstellung eines Katalysators.

10 Figur 1 zeigt Anordnungen mit Katalysatorsystemen. Die Anordnungen sind jeweils durchströmt, wobei die durchströmbaren Körper jeweils quer zur Strömungsrichtung angeordnet sind, um die Durchströmung nicht zu behindern. Die durchströmbaren Körper 1 sind auch übereinander angeordnet, so
15 dass das Nachströmen des wasserstoffhaltigen Gases thermisch beschleunigt wird.

Figur 2 gibt einen Einblick in den Herstellungsprozess eines erfindungsgemäßen Katalysators mit einem Imprägnierverfahren. Der Katalysator ist in diesem Ausführungsbeispiel ein
20 durchströmbarer Körper. Der wabenförmige Trägerkörper 2 besteht aus keramischem Cordierit. Er wird in eine wasserbasierte Beschichtungssuspension getaucht. Zur Erzielung einer sowohl hinsichtlich ihrer Stabilität beziehungsweise Viskosität als auch hinsichtlich ihrer Benetzungseigenschaften
25 und Haftfähigkeit auf der Trägeroberfläche geeigneten Beschichtungssuspension werden der Primärsuspension (Aufschlämmung aus platin-aktiviertem Molybdäntrioxid in Wasser) ein geeigneter Haftvermittler in Form eines Böhmit-Sols (AlOOH) sowie ein geeignetes Suspendiermittel in Form von
30 organischen Polymeren, beispielsweise Polyacrylsäure, zugesetzt. Nach dem Eintauchen wird die überschüssige Suspension durch Absaugen aus dem Trägersubstrat entfernt.

Grundsätzlich sind zur Herstellung der dünnflüssigen Beschichtungsschlicker alle Zuschlagstoffe geeignet, die zur Stabilisierung der Suspension beziehungsweise zur Ausbildung von Poren innerhalb der Schicht und zur Verfestigung des Katalysators auf der Trägeroberfläche beitragen.

Die Verfestigung und Fixierung der Katalysatorschicht erfolgt durch Kalzinierung und Temperung bei Temperaturen unterhalb von 800 °C.

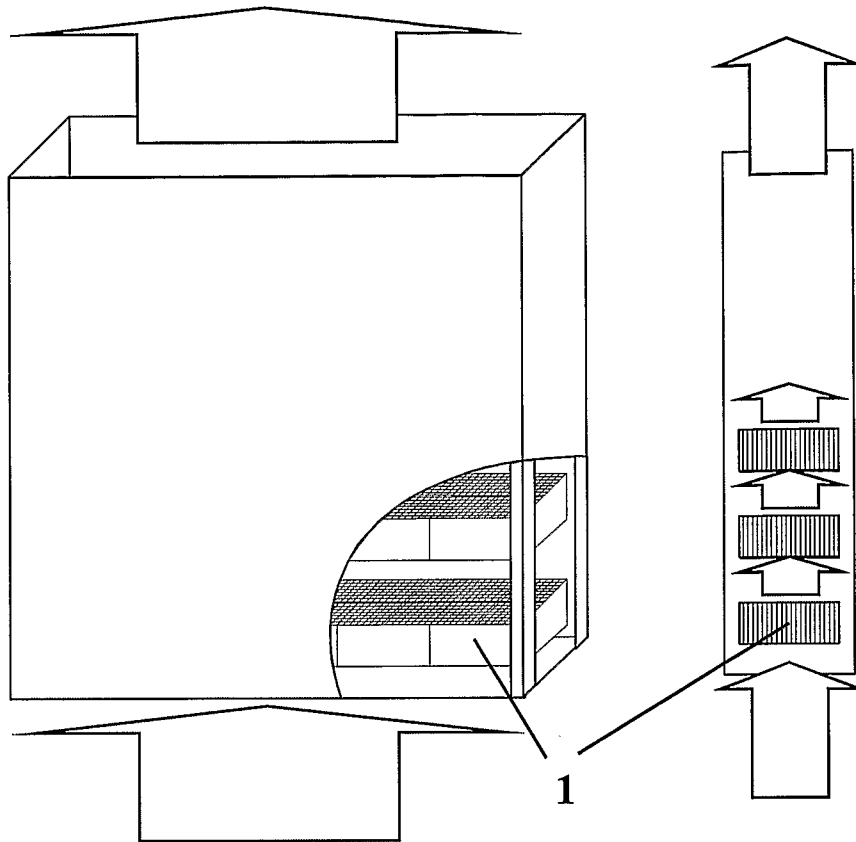
Die imprägnierten Wabenkörperoberflächen 3 werden im Trockenschrank getrocknet sowie mit konstanter Aufheizgeschwindigkeit kalziniert.

Patentansprüche

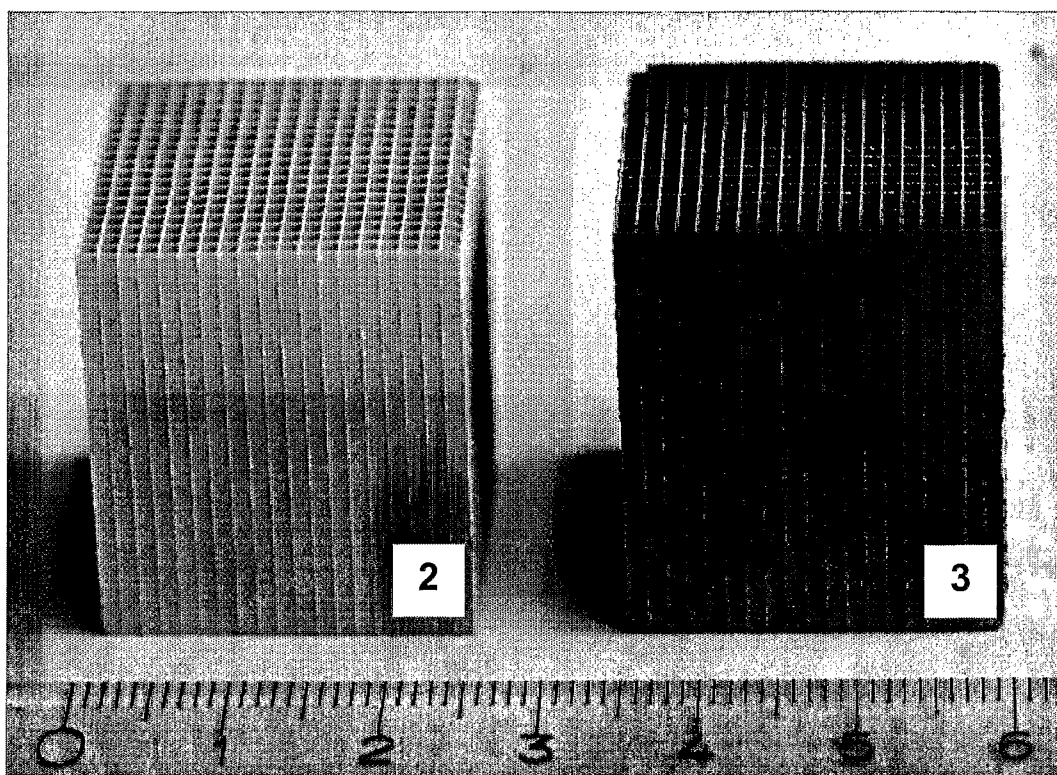
1. Katalysator, enthaltend ein katalytisch aktives Material, das die Rekombination von Wasserstoff mit Sauerstoff unterstützt, dadurch gekennzeichnet, dass das aktive Material in eine Matrix aus einem Metalloxid eingebettet ist.
5
2. Katalysator nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Metalloxidmatrix, die nur für Wasserstoff durchlässig ist.
3. Katalysator nach einem der Ansprüche 1 bis 2, gekennzeichnet durch Molybdäntrioxid als Metalloxid.
10
4. Katalysator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch ein Edelmetall als aktives Medium.
5. Katalysator nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch ein Edelmetall aus der Gruppe Platin, Palladium, Rhenium, Rubidium, Rhodium und Iridium.
15
6. Durchströmbarer Körper als Katalysator nach einem der Ansprüche 1 bis 5.
7. Durchströmbarer Körper nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass er aus der Metalloxidmatrix besteht.
8. Durchströmbarer Körper nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Körper mit der Metalloxidmatrix beschichtet ist.
20
9. Durchströmbarer Körper nach einem der Ansprüche 6 bis 8, gekennzeichnet durch einen wabenförmigen Aufbau.

10. Durchströmbarer Körper nach einem der Ansprüche 6 bis 9, gekennzeichnet durch koaxial angeordnete Strömungskanäle.
- 5 11. Katalysatorsystem, enthaltend mindestens zwei durchströmbare Körper nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die durchströmbaren Körper in Reihe geschaltet sind.
- 10 12. Katalysatorsystem nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Eingang eines durchströmbaren Körpers am Ausgang des anderen durchströmbaren Körpers angeordnet ist.
- 15 13. Anordnung aus einem durchströmten Gehäuse und einem durchströmbaren Körper nach einem der Ansprüche 6 bis 10 oder einem Katalysatorsystem nach einem der Ansprüche 11 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der durchströmbare Körper oder das Katalysatorsystem quer zur Durchströmungsrichtung innerhalb des Gehäuses angeordnet ist.
- 20 14. Verfahren zur Herstellung eines Katalysators für die Rekombination von Wasserstoff mit Sauerstoff, dadurch gekennzeichnet, dass ein katalytisch aktives Material in eine Matrix aus einem Metalloxid eingebettet wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass Molybdäntrioxid als Metalloxid gewählt wird.
- 25 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass Edelmetall als aktives Medium gewählt wird.
- 30 17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass ein Molybdäntrioxidpulver mit einem Edelmetallsalz, insbesondere Hexachloroplatinsäure oder Palladiumnitrat, imprägniert wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Pulver bei Temperaturen unterhalb 800 °C kalziniert wird.
- 5 19. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass Molybdäntrioxid-Partikel mit Edelmetall-Nanopartikeln aus einer wässrigen Dispersion beschichtet werden.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass ein offenporiger Körper mit einem edelmetallhaltigen Molybdäntrioxid imprägniert wird.
- 10 21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Körper mit einer wasserbasierten Beschichtungssuspension in Kontakt gebracht wird.
- 15 22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Beschichtungssuspension ein organisches Polymer zugesetzt wird.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Beschichtungssuspension ein keramischer Haftvermittler zugesetzt wird.
- 20 24. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die imprägnierte Beschichtung bei Temperaturen unterhalb von 800 °C kalziniert und getempert wird.



Figur 1



Figur 2