

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 1365/2006

(22) Anmeldetag: 14.08.2006

(43) Veröffentlicht am: 15.12.2007

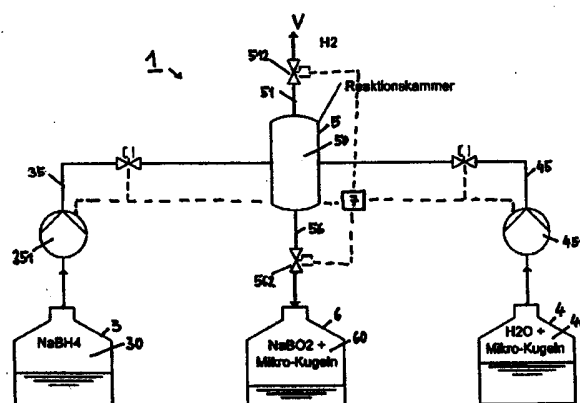
(51) Int. Cl.<sup>8</sup>: F17C 11/00 (2006.01),  
B01J 7/02 (2006.01)

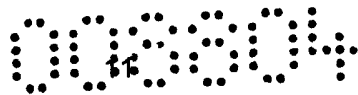
(73) Patentanmelder:

ARC SEIBERSDORF RESEARCH GMBH  
A-1220 WIEN (AT)

(54) **VERFAHREN ZUM SPEICHERN UND GEZIELTEN FREISETZEN VON WASSERSTOFF**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zum Speichern und Freisetzen von Wasserstoff, in dessen Verlauf aus mit Wasserstoff gefüllten Mikrohohlkugeln Wasserstoff freigesetzt wird und welches dadurch gekennzeichnet ist, dass die Wandung der Mikrohohlkugeln mit einem Wasserstoff freisetzung begünstigenden Katalysator versehen sind und die Kugeln in einer Wassermatrix gelagert werden, dass weiters ein Hydrid, insbesondere Natriumborhydrid, in einer Wassermatrix gelagert wird, und dass bei Bedarf das Wasser/Wasserstoff-Mikrohohlkugelmischung und das Hydrid, insbesondere Natriumborhydrid, miteinander vereinigt werden, wobei, gefördert durch den Katalysator, die Reaktion  $\text{Hydrid} + \text{Wasser} = \text{Wasserstoff} + \text{Oxid des Hydrids}$  unter Wasserstoff- und Wärmeentwicklung abläuft, wodurch die Mikrohohlkugelmischungen wasserstoffpermeabel werden und der Wasserstoff aus den Kugeln freigesetzt und weitergeleitet wird, und das Reaktionsendprodukt abgeführt und recycelt wird.



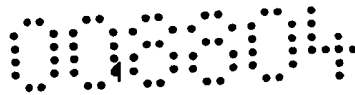


### Zusammenfassung:

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zum Speichern und Freisetzen von Wasserstoff, in dessen Verlauf aus mit Wasserstoff gefüllten Mikrohohlkugeln Wasserstoff freigesetzt wird und welches dadurch gekennzeichnet ist, dass die Wandung der Mikrohohlkugeln mit einem Wasserstofffreisetzung begünstigenden Katalysator versehen sind und die Kugeln in einer Wassermatrix gelagert werden, dass weiters ein Hydrid, insbesondere Natriumborant gelagert wird, und dass bei Bedarf das Wasser/Wasserstoff-Mikrohohlkugelmisch und das Hydrid, insbesondere Natriumborant, miteinander vereinigt werden, wobei, gefördert durch den Katalysator, die Reaktion



unter Wasserstoff- und Wärmeentwicklung abläuft, wodurch die Mikrohohlkugelmündungen wasserstoffpermeabel werden und der Wasserstoff aus den Kugeln freigesetzt und weitergeleitet wird, und das Reaktionsendprodukt abgeführt und recycelt wird (Fig. 2).



Die vorliegende Erfindung betrifft ein neues Verfahren zum Speichern und gezielten Freisetzen von Wasserstoff sowie eine neue Anlage zur Durchführung des Verfahrens.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich insbesondere auf den Wasserstoffspeicher mit einer neuen Art der Gas-Entnahme-Prozedur aus mit Wasserstoff gefüllte Mikro-Hohlkugeln.

Gewöhnlicherweise benötigt diese Art der Gasentnahme große Mengen an Wärme. Außerdem ist der Nachteil gegeben, dass die Packungsdichte von Mikro-Kugeln nur etwa 60% beträgt. Durch die Nutzung von Wasser als funktionale Trägerflüssigkeit und beispielsweise Natriumborhydrid als Wärmelieferant kann, wie gefunden wurde, eine effektive neue Art der Wasserstoffgas-Entnahmeprozedur aus dasselbe eingeschlossen enthaltenden Mikro-Kugeln ohne Zufuhr von Wärme von außen realisiert werden.

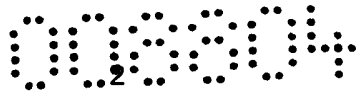
Ein wesentliches neues Merkmal der Erfindung besteht in der Beschichtung der wasserstoff-gefüllten Mikro-Kugeln mit einer kleinen Menge eines speziellen Katalysators, um die Reaktion zwischen Wasser, welches die Zwischenräume zwischen den Mikro-Kugeln füllt, und einer Wasserstoff in gebundener Form enthaltenden und denselben bei Kontakt mit Wasser freigebenden Substanz, insbesondere Natriumborhydrid bzw. Natriumborant an der Mikro-Kugeloberfläche zu beschleunigen, wobei durch diese Reaktion die für die Durchlässigmachung der Wände der Mikro-Kugeln nötige Wärme-Energie auf kleinsten Raum bereitgestellt wird.

Gegenstand der Erfindung ist somit ein Verfahren zum Speichern und gezielten Freisetzen von Wasserstoff gemäß dem O b e r g r i f f des A n s p r u c h e s 1, welches die im K e n n z e i c h e n dieses Anspruches genannten M e r k m a l e aufweist.

Einen weiteren wesentlichen Gegenstand der Erfindung bildet eine neue Vorrichtung zur Speicherung und Freisetzung von Wasserstoff für ein breites Einsatzgebiet, welche insbesondere auf dem neuen Wasserstoff-Speicher- und - Freisetzungsverfahren beruht.

In den letzten Jahren wird in steigendem Maße die Generierung und der Einsatz von Wasserstoff für die verschiedensten Zwecke und Aufgaben diskutiert und in geringem Maße auch schon zum Einsatz gebracht, wobei hier der Vorteil gegeben ist, dass Wasserstoff in riesigem Ausmaß in Form von freiem und gebundenem Wasser auf der Erde zur Verfügung steht, und dass bei dessen Verbrennung bzw. Reaktion mit Sauerstoff, welche besonders sauber verläuft, wieder Wasser gebildet wird, dass also praktisch der Ausgangsstoff Wasser nicht verloren gehen kann.

Wichtig geworden sind in den letzten Jahren die weltweiten Versuche des Einsatzes von Wasserstoff als unerschöpfliche Energiequelle, und dies insbesondere im



Hinblick auf die jedenfalls zu erwartenden Engpässe bei der Versorgung der Welt mit fossilen Energieträgern, wie insbesondere mit Erdöl und Ergas.

Große Probleme stellen jedoch immer noch die möglichst sichere Handhabung von Wasserstoff und insbesondere auch die kompakte Speicherung dieses Energieträgers für die verschiedenen Anwendungsgebiete, und hier insbesondere für mobile Objekte, wie Kraftfahrzeuge, dar.

Wasserstoff hat gegenüber dem sich im steigenden Einsatz befindlichen Naturgas den Nachteil, dass er sich nur bei sehr tiefen Temperaturen verflüssigen und sich somit in Gasform nur in hochstabilen Druckgefäßen speichern lässt.

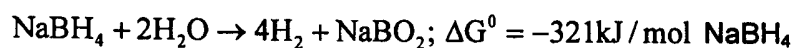
Dies hat zu einer großen Zahl von unterschiedlichen Entwicklungen geführt, von denen der Gegenstand der vorliegenden Erfindung im Hinblick auf die Praxis besonders effektiv und aussichtsreich ist.

Die Wasserstoff-Speicherdichte von wasserstoff-gefüllten Mikro-Glaskugeln ist sehr hoch, allerdings gibt es einen wesentlichen Nachteil: das Erwärmen der Kugeln benötigt sehr viel Energie und Zeit. Die Nutzung der Abwärme von z.B. einer mit dem Wasserstoff aus den Mikro-Kugeln betriebenen Brennstoffzelle benötigt einen aufwendigen Wärmetauscherkreislauf zwischen der Brennstoffzelle und den Speichertanks. Darüber hinaus ist die Packungsdichte der Mikro-Kugeln von bloß 60% ein großer Nachteil.

Die Lösung liegt, wie gefunden wurde, im Einsatz einer selbst im Hinblick auf Wasserstoff-Generierung funktionellen Trägerflüssigkeit, welche also Wasserstoff abzugeben im Stande ist. Insbesondere Natriumborhydrid ( $\text{NaBH}_4$ ) bietet sich als eines der aussichtsreichsten Wasserstoffspeichermaterialien an.

Die Speicherung von Wasserstoff basiert hierbei auf der katalytischen Hydrolyse des Natriumborhydrids, welches eine an sich einfach zu handhabende Flüssigkeit ist, und das Abfallprodukt der Hydrolyse-Reaktion, nämlich Natriumboroxid, kann letztlich mit Hilfe von Wasserstoff zu Natriumborhydrid recycelt werden.

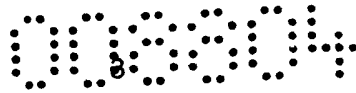
Die hier insbesondere in Rede stehende Hydrolyse-Reaktion ist folgende:



Die Temperatur bei Ablauf dieser Hydrolyse-Reaktion muss etwa  $270^\circ\text{C}$  erreichen, um die Wasserstoff-Freisetzung aus den Mikro-Kugeln zu optimieren bzw. maximieren.

Es wurde gefunden, dass durch den Einsatz von Katalysatoren die Temperatur der Mikro-Kugeln auf Umgebungstemperatur gesenkt werden kann, wobei immer noch 7 Gew.-% an Wasserstoff aus den Mikro-Kugeln freigesetzt werden kann.

Geeignete Katalysatoren für die obengenannte Reaktion sind beispielsweise



kolloidales Platin auf aktiviertem Kohlenstoff, Raneynickel, Ruthenium sowie Materialien auf Basis von Magnesium, Platin, Nickel und Kobalt. Hohe Reaktionsraten ließen sich mit geringen Mengen von 1% x/TiO<sub>2</sub> und 1% x/LiCoO<sub>2</sub>-Katalysatoren erreichen, worin x=Rh und/oder Pt ist.

Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung betrifft das Beschichten der Mikro-Kugeln mit jeweils einer kleinen Menge an wirksamem Katalysator um die Reaktion zwischen der wasserstoff-enthaltenden Substanz, also zwischen dem Hydrid und Wasser an der Oberfläche der Mikro-Kugeln zu beschleunigen. Es wird eine sehr beschleunigte Hydrolyse-Reaktion erreicht und hiermit schließlich auch eine beschleunigte und auf engsten Raum konzentrierte und ausreichende Wärmeproduktion. Es werden auf die neue Weise die Mikro-Kugel-Wandungen durch die Hydrolyse-Reaktion lokal direkt beheizt und werden für den in den Mikro-Kugeln eingeschlossenen Wasserstoff permeabel.

Durch diese direkte Nutzung der Reaktionswärme kann ein Durchbrennen oder eine Druckerhöhung im Reaktor verhindert werden, da nur eine kleine Menge an Katalysator vorhanden ist. Gleichzeitig wird rasch und ganz lokal auf die Mikro-Kugel-Wände einwirkende Wärme erzeugt, die dieselbe für Wasserstoff durchlässig machen, so dass dieser austreten kann.

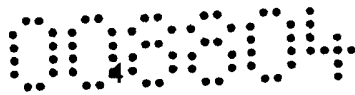
Ein weiterer wichtiger Aspekt der Erfindung bezieht sich auf die Hydrolyse-Reaktion als Wärmelieferant. Dabei wird das Mikro-Kugel/Wassergemisch mit Natriumborhydrid in der Reaktionskammer in Kontakt gebracht und die bei der Reaktion entstehende Wärme dient für die Freisetzung des Wasserstoffs aus den Mikro-Kugeln.

Die Abfallprodukte der Reaktion, im wesentlichen bestehend aus Natriumboroxid und leeren Mikro-Kugeln werden in einem separaten Behälter gesammelt bzw. gespeichert.

Die gesamte Wasserstoff-Speicherkapazität der neuen Anlage wird durch das Mengen- bzw. Volums-Verhältnis NaBH<sub>4</sub> zu H<sub>2</sub>O zu wasserstoff-gefüllten Mikro-Kugeln und vom Wasserstoffdruck innerhalb der Kugeln bestimmt. Das konkret eingesetzte Verhältnis wiederum hängt von der erforderlichen Wärmemenge für die Mikro-Kugeln ab, die die beschriebene Hydrolyse-Reaktion liefern muss.

Die Aktivierungsenergie für herkömmliche wasserstoff-gefüllte Glaskugeln beträgt üblicherweise 55kJ/mol, wodurch das Mikro-Kugelbett auf etwa 270°C erhitzt wird. Daraus resultiert eine benötigte Menge Natriumborhydrid von 0,2mol und eine benötigte Menge an Wasser von 0,4mol, um 1mol der Mikro-Kugeln auf 270°C zu erhitzen.

Ausgehend von einer realistischen Packungsdichte der Mikro-Kugeln von 60% beträgt das minimale Volumen an Wasser 0,4cm<sup>3</sup> pro cm<sup>3</sup> Kugeln, um die "Packungsdichte" auf 100% zu bringen bzw. zu erhöhen. Diese eben genannten Werte



repräsentieren ein ideales System, im realen Fall muss hingegen die minimale Menge von "dichtem" Natriumborhydrid/Wasser-Gemisch höher sein, um unvermeidliche Wärmeverluste auszugleichen. Darüber hinaus verbessert die Zugabe von Wasser die Viskosität des Mikro-Kugelbettes und reduziert somit die benötigte Energie, um diese Mischung z.B. mit Hilfe von Pumpen zu fördern.

Ein optimales Verhältnis der soeben genannten Komponenten beträgt  $0,98 \text{ cm}^3 \text{ NaBH}_4$  zu  $1 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$  zu  $1 \text{ cm}^3$  Mikro-Kugeln, jeweils bezogen auf das Volumen, bzw.  $1,04 \text{ g NaBH}_4$  zu  $1 \text{ g H}_2\text{O}$  zu  $0,36 \text{ g}$  Mikro-Kugeln, jeweils bezogen auf die Masse. Die theoretische Speicherkapazität des Systems beträgt  $11,75 \text{ Gew.-%}$  Wasserstoff bei einem Speicherdruck von  $700 \text{ bar}$  innerhalb der Kugeln.

Die realistischen Verhältniszahlen betragen  $0,90$  bis  $1,10 \text{ g NaBH}_4$  zu  $0,95$  bis  $10,5 \text{ g H}_2\text{O}$  zu  $0,30$  bis  $0,40 \text{ g}$  Wasserstoff mit  $700 \text{ bar}$  enthaltenden Mikro-Kugeln.

Aufgrund der einfachen und sicheren Handhabung von  $\text{H}_2$ -gefüllten Mikro-Kugeln und von Natriumborhydrid sind die mechanischen und sicherheitstechnischen Anforderungen an die Speichertanks für die Komponenten sehr gering.

Falls die Abfallprodukte bzw. Rückstände, bestehend aus Natriumboroxid und leeren Mikro-Kugeln, nicht in den Speichertanks gespeichert werden können, wird ein weiterer Tank für die Aufnahme dieser Abfälle benötigt.

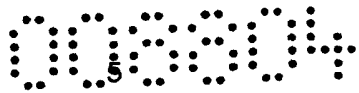
Das bei der wärmeliefernden Reaktion gebildete Natriumboroxid kann im Rahmen eines einfachen chemischen Prozess zu Natriumborhydrid recycelt werden, und die leeren Mikro-Kugeln können mit Wasserstoff wiederbefüllt werden.

Die vorliegende Erfindung liefert eine komfortable Lösung für Transport, Speicherung und Bereitstellung von Wasserstoff. Die entsprechenden, derzeit verwendeten Lösungen, wie komprimierter und flüssiger Wasserstoff, sind nicht ungefährlich, sie benötigen ein großes Volumen bei hohem Gewicht und sind nicht langzeitstabil.

Die vorgeschlagene Erfindung führt zu einer wesentlichen Volumen-, Gewichts- und Energieverbrauchs-Reduktion und zu einer wesentlichen Verbesserung der Sicherheit.

Im folgenden werden verschiedene bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung und auch das neue Verfahren zur Wasserstoff-Generierung durch chemische Reaktion und zu der mit derselben in Gang gesetzten Wasserstoff-Freisetzung aus den Mikro-Hohlkugeln beschrieben.

Dem Anspruch 2 sind im Rahmen der Erfindung besonders bevorzugte Katalysatoren für die Ausstattung der Wandungen der wasserstoff-gefüllten Mikro-Hohlkugeln mit demselben zu entnehmen.



Vorteilhafte Mischungsverhältnisse von wasserstoff-enthaltenden Substanzen, Wasser und wasserstoff-gefüllten Mikro-Hohlkugeln sind im Anspruch 3 geoffenbart.

Die Ansprüche 4 und 5 beschäftigen sich mit der Wieder-Aufbereitung der im Rahmen der erfindungsgemäß vorgesehenen Reaktion anfallenden Endprodukte, wie Oxide und "leere" Mikro-Hohlkugeln.

Weiters hat der Anspruch 6 eine neue Anlage bzw. Vorrichtung zum Speichern und Freisetzen von Wasserstoff zum Gegenstand, welche insbesondere nach dem neuen Wasserstoff-Speicher- und -Freisetzungsverfahren arbeitet und die im dortigen Kennzeichen aufscheinenden Merkmale aufweist.

Der Anspruch 7 betrifft schließlich die neuen katalysator-beschichteten mit Wasserstoff gefüllten Mikro-Hohlkugeln.

Die vorliegende Erfindung unterstützt eine innovative Gas-Entnahme-Prozedur für Mikro-Glaskugeln ohne Zufuhr von externer Energie. Die Gas-Entnahme-Prozedur basiert auf der Grundlage der Temperaturabhängigkeit der Diffusion. Wird die Temperatur der Kugel erhöht, so erhöht sich auch die Permeabilität der Glaswand gegenüber Wasserstoff.

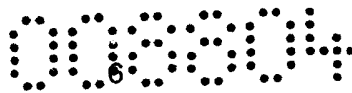
Die benötigte Wärme wird durch die Hydrolyse-Reaktion von Natriumborhydrid bereitgestellt. Darüber hinaus führt die Beschichtung der Mikro-Kugeln mit einer kleinen Menge des speziellen Katalysators zu der wesentlich beschleunigten Hydrolyse-Reaktion an der Oberfläche der Hohlkugel-Wandung und somit zu der erwünschten beschleunigten Gasproduktion.

Das neue Wasserstoff-Speicher- und -Freisetzungsverfahren und die danach arbeitende Anlage werden im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert:

Die Fig. 1 zeigt schematisch einen Schnitt durch eine der mit Wasserstoff unter hohem Druck gefüllten Mikro-Hohlkugeln und die Fig. 2 ein Schema des erfindungsgemäßen Verfahrens und gleichzeitig der neuen Wasserstoff-Speicher- und -Freisetzungs-Vorrichtung.

Die in der Fig. 1 gezeigte Mikro-Hohlkugel 2 hat eine rundum geschlossene Wandung 20, welche an, wie gezeigt, hier vier Stellen mit einem gegenüber Wasserstoff sensitivem Katalysator 21, wie z.B. Platin, beschichtet ist. Im Kugel-Hohlraum 22 innerhalb der Wandung 20 befindet sich Wasserstoff-Gas,  $H_2$  mit einem hohem Druck  $h_p$  im Bereich von z.B. 600 bis 1000 bar.

Bei einem Speicherdruck von 600bar liegt die Speicherdichte von Wasserstoff bei etwa 10 Gew.-%. Es ist allgemein bekannt, dass bei einem geringeren Druck die gravimetrische Speicherdichte sinkt und die volumetrische Speicherdichte steigt, und zwar



aufgrund der geringeren Wandstärke der Glasskugeln. Daraus folgt, dass jede Hohlkugel einen optimierten Speicherdruck besitzt.

Bei Temperaturen im Bereich von etwa 250 bis 300°C wird das Material der Wandung 20 aus Glas oder Kunststoff "undicht" und für den sehr klein-molekularen Wasserstoff problemlos durchgängig.

Gemäß der Erfindung ist nun vorgesehen, dass die sich in einer Matrix Mx aus umgebenden H<sub>2</sub>O befindlichen Mikro-Hohlkugeln 2 nicht, wie bisher üblich, durch Heizung von außen auf die höhere, für eine Freisetzung des in den Kugeln enthaltenen Wasserstoffs H<sub>2</sub> für denselben durchlässig gemacht wird, sondern dadurch, dass der Katalysator 21 für eine lokale katalytische Reaktion zwischen der die Mikro-Hohlkugeln 2 umgebenden, mit Wasser gebildeten Matrix Mx und einer von außen zugelieferten wasserstoff-enhaltenden Verbindung H<sub>2</sub>V, wie insbesondere Natriumborant, NaBH<sub>4</sub>, sorgt und die lokal entstehende Reaktionswärme für die Durchlässigmachung, also wesentliche Erhöhung der Permeabilität der Mikro-Kugel-Wandung 20 sorgt, wobei gleichzeitig zusätzlich zu dem dann aus den Mikro-Hohlkugeln 2 entweichenden Wasserstoff der Wasserstoff aus der wasserstoff-enhaltenden Verbindung H<sub>2</sub>V kommt, welcher Wasserstoff insgesamt letztlich dann an eine Verbrauchsstelle geleitet wird.

Eine besonderes bedeutsame Verbrauchsstelle wird in Zukunft der dann mit dem nach dem neuen Verfahren gespeicherten und genau zu dosierbaren Wasserstoff zu betreibende Verbrennungs- bzw. Explosionsmotor, insbesondere von Kraftfahrzeugen, Baumaschinen, Flugzeugen und Schiffen sein, wobei der große Vorteil des Wegfalls der bisher üblichen, immer noch "schwierigen" Wasserstoff-Technologie gegeben ist.

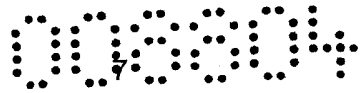
Die in der Fig. 2 gezeigte Anlage 1 zum Speichern und Freisetzen von Wasserstoff umfasst einen ersten und einen zweiten Vorrats- bzw. Speicherbehälter 3, 4, wobei sich im ersten Behälter 3 hier flüssiges Natriumborant, NaBH<sub>4</sub>, 30 und im zweiten Speicherbehälter 4 ein Wasser/Wasserstoff-Mikrohohlkugelgemisch 40 befinden.

Von jedem der beiden Speicherbehälter 3 und 4 führt jeweils eine Leitung 35 und 45 jeweils mit Dosierpumpe 351 und 451 sowie Regelventilen 352 und 452 zu dem Reaktionsgefäß 5 und münden in dasselbe.

Wird nun Wasserstoff H<sub>2</sub> benötigt, so werden Natriumborant 30 und Wasser/Mikro-Hohlkugel-Gemisch 40 im gewünschten Mengenverhältnis zueinander in den Reaktionsbehälter 5 gefördert und es findet dort an den schon oben erläuterten Katalysatorstellen 21 der Mikro-Hohlkugeln 2 die Reaktion

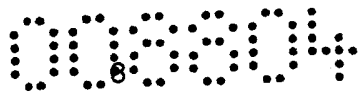
$$2 \text{H}_2\text{O} + \text{NaBH}_4 = \text{Natriumboroxid} + 4 \text{H}_2, \text{ Bezugszeichen } 50,$$

statt, deren Reaktionswärme für die Freisetzung des Wasserstoffs, H<sub>2</sub> aus den Mikro-Hohlkugeln sorgt. Der so freigesetzte Wasserstoff H<sub>2</sub> wird durch eine Leitung 51 mit Ventil 512 zu einer Verbrauchsstelle V geleitet.



Nach unten hin geht von dem Reaktionsbehälter 5 eine weitere Leitung 56 mit Ventil 562 in einen Sammelbehälter 6 aus, in welchem das Reaktions-Endprodukt 60, bestehend aus Natriumboroxid und entleerten Mikro-Hohlkugeln, gesammelt wird und letztlich einer Recyclierung zugeführt werden kann.

Steuerbar ist die Anlage z.B. mittels einer mit dem oben genannten Pumpen und Ventilen verbundenen zentralen Steuereinheit 7.



## Patentansprüche:

1. Verfahren zum Speichern und gezielten Freisetzen von Wasserstoff in jeweils benötigter bzw. erforderlicher Menge, in dessen Verlauf durch gezielte Zuführung von Wärmeenergie auf mit Wasserstoff unter hohem Druck gefüllten Mikro-Hohlkugeln aus Glas oder Kunststoff Wasserstoff aus denselben freigesetzt und an eine Verbrauchsstelle geleitet wird,

dadurch gekennzeichnet,

- dass mit Wasserstoff, vorzugsweise mit einem Druck von 500 bis 1000 bar, insbesondere von 700 bis 900 bar, gefüllte Mikro-Hohlkugeln, deren Wandungen zumindest teilweise mit geringen Mengen eines eine Wasserstoff-Freisetzung begünstigenden Katalysators versehen, insbesondere beschichtet sind, eingesetzt werden, welche in einer dieselben umgebenden, flüssigen Matrix aus Wasser in einem ersten Speicherbehälter gelagert sind,

- dass weiters in einem zweiten Speicherbehälter eine Wasserstoff enthaltende, bei Kontakt mit Wasser unter Freisetzung des Wasserstoffs reagierende Substanz, vorzugsweise ein Hydrid, wie insbesondere Natriumborant ( $\text{NaBH}_4$ ), gelagert ist, und

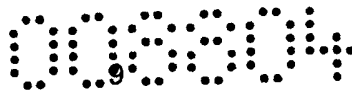
- dass bei Bedarf an Wasserstoff, bevorzugt mittels Pumpen, das zumindest fließ- und pumpfähige Wasser/Wasserstoff-Mikrohohlkugel-Gemisch aus dem ersten Vorratsbehälter und die Wasserstoff enthaltende und freisetzende Substanz, insbesondere das Hydrid, wie insbesondere Natriumborant, aus dem zweiten Vorratsbehälter in ein Reaktionsgefäß dosiert und dort miteinander vereinigt werden, wobei - gefördert durch den Katalysator in und/oder an den Wandungen der Mikro-Hohlkugeln die Reaktion:

- wasserstoff-enthaltende Substanz, insbesondere Natriumborant, + Wasser = Wasserstoff + Oxid der wasserstoff-enthaltenden Substanz, insbesondere Natriumboroxid, unter Wasserstoff-Entwicklung und lokaler Reaktions-Wärmeentwicklung, insbesondere an den Wandungen der Mikro-Hohlkugeln -

abläuft, durch welche die genannten Wandungen wasserstoff-permeabel werden und somit der Wasserstoff aus den Mikro-Hohlkugeln freigesetzt und an eine Verbrauchsstelle weitergeleitet wird, und

- dass das Reaktions-Endgemisch aus Oxid der wasserstoff-enthaltendem Substanz, insbesondere Natriumboroxid, Wasser und leere Mikro-Hohlkugeln, bevorzugt in einen Sammelbehälter, abgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mit Wasserstoff unter hohem Druck gefüllte Mikro-Hohlkugeln eingesetzt werden, deren Wandungen geringe



Mengen an mindestens einem Katalysator aus der Gruppe Magnesium, Platin, Nickel und Kobalt, sowie weiters  $X/\text{TiO}_2$  und/oder  $X/\text{LiCoO}_2$ , letztere beide Verbindungen vorzugsweise in Mengen von etwa 1%, enthalten und/oder mit denselben beschichtet sind.

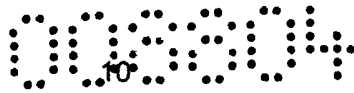
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Wasserstoff-Entwicklungs-Reaktion ein Verhältnis von 0,95 bis 1,10 g  $\text{NaBH}_4$  : 0,95 bis 1,05 g  $\text{H}_2\text{O}$  : 0,30 bis 0,40 g  $\text{H}_2$ -gefüllte Mikro-Hohlkugeln, insbesondere ein Verhältnis von 1,04 g  $\text{NaBH}_4$  : 1 g  $\text{H}_2\text{O}$  : 0,36 g  $\text{H}_2$ -gefüllte Mikro-Hohlkugeln, eingehalten wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die als Reaktions-Endprodukt anfallenden Mikro-Hohlkugeln wieder mit Wasserstoff unter hohem Druck befüllt und im vorliegenden Prozess wieder eingesetzt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das als Reaktions-Endprodukt anfallende Oxid der wasserstoff-enthaltenden Substanz, insbesondere das Natriumboroxid, durch Einwirkung von Wasserstoff wieder in die wasserstoff-enthaltende Substanz, insbesondere Natriumboratan, zurückgeführt und im vorliegenden Prozess wieder eingesetzt wird.

6. Vorrichtung zur Speicherung und Freisetzung von Wasserstoff, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass sie

- einen ersten Speicherbehälter (3) mit einer, vorzugsweise pumpfähigen, Füllung (30) aus einer Wasserstoff chemisch gebunden enthaltenden und denselben bei Reaktion mit Wasser freisetzenden Substanz, vorzugsweise Hydrid, insbesondere Natriumboratan,
- einen zweiten Speicherbehälter (4) mit einer zumindest pumpfähigen, Füllung (40) aus mit Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) unter hohem Druck befüllten Mikro-Hohlkugeln (2), welche im wesentlichen in dichter Packung mit bzw. in einer zwischenraum-füllenden Matrix (Mx) aus Wasser vorliegen, und
- jeweils Abführungs-Leitungen (35, 45), mit Dosierpumpen (351, 451) und/oder Ventilen (352, 452), aus den beiden Speicherbehältern (3, 4), welche beide in einen Reaktionsbehälter (5) für die Reaktion (50) der Füllungen (30, 40) der beiden Speicherbehälter (3, 4) miteinander münden, umfasst,
- wobei der Reaktionsbehälter (5) seinerseits mit einer Abführungsleitung (51) für den dort entwickelten und freigesetzten Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) mit Regulierventil (512) od. dgl.



zu einer Verbrauchsstelle (V) und weiters mit einer, bevorzugt ebenfalls mit einer Dosierpumpe und/oder einem Regelventil (562) ausgestatteten Abführung (56) für das bei der Reaktion (50) gebildete Gemisch (60) von Oxid der wasserstoff-enthaltenden Substanz, insbesondere Natriumboroxid, und leeren Mikro-Halbkugeln (60) in einen Sammelbehälter (6) ausgestaltet ist,

- wobei es bevorzugt ist, dass die genannten Dosierpumpen und/oder Regelventile (351, 451; 352, 452, 512, 562) in den Leitungen (35, 45, 51, 56) jeweils individuell bzw. individuell aufeinander abgestimmt von einer zentralen Steuereinheit (7) aus steuer- und regelbar sind.

7. Mit Wasserstoff ( $H_2$ ) mit hohem Druck im Bereich von 500 bis 1000 bar in ihren Hohlräumen (22) gefüllte Mikro-Hohlkugeln (2), insbesondere aus Glas oder Kunststoff, deren Wandungen (20) zumindest teilweise mit einem für die Freisetzung von Wasserstoff durch Reaktion von Wasser mit einem Hydrid, insbesondere Natriumborurat, unter Wärmeentwicklung vorgesehenen Katalysator (21) beschichtet ist bzw. in deren Wandung (20) ein derartiger Katalysator (21) integriert ist, für die Durchführung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, vorzugsweise in einer Vorrichtung gemäß Anspruch 6.

Wien, am 14. August 2006

Fig. 2

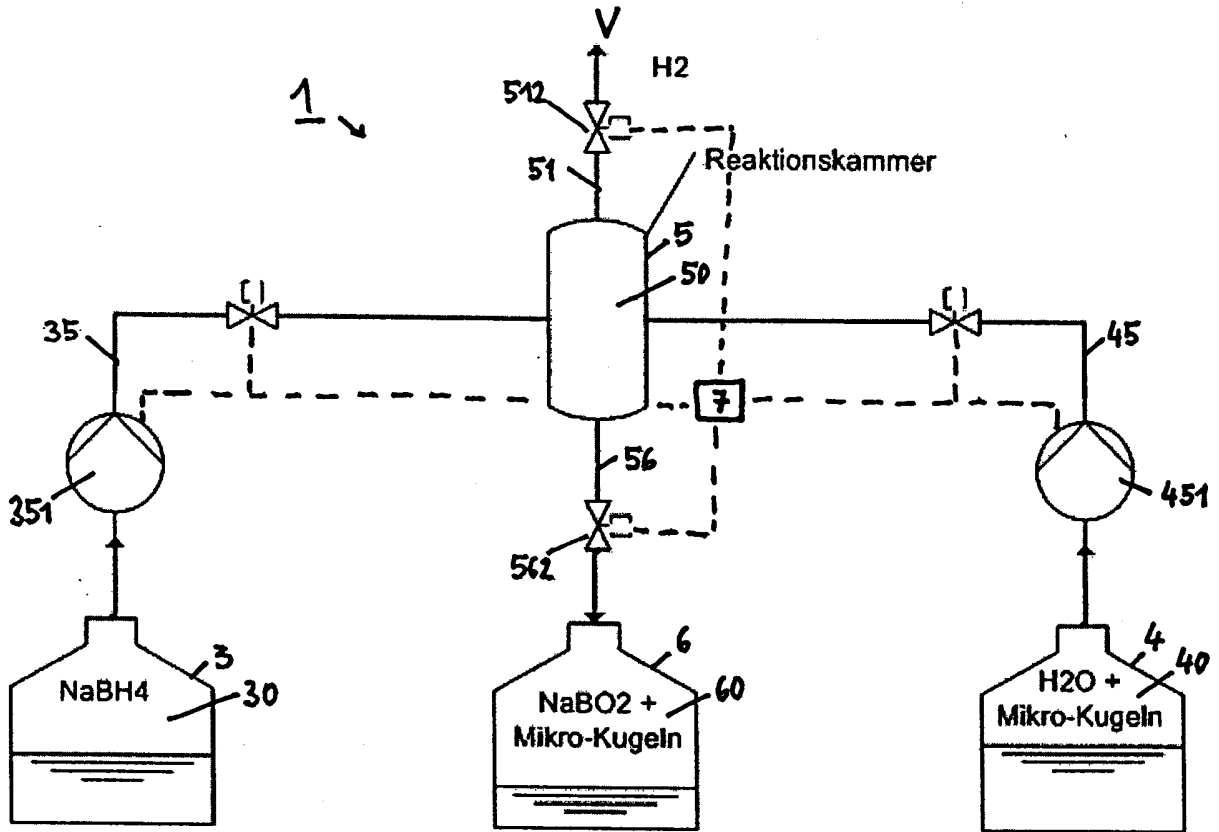


Fig. 1

