

Patentschrift

(51) Int Cl.: **F17C 13/00** (2006.01)

der Patenterteilung: **21.06.2018**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

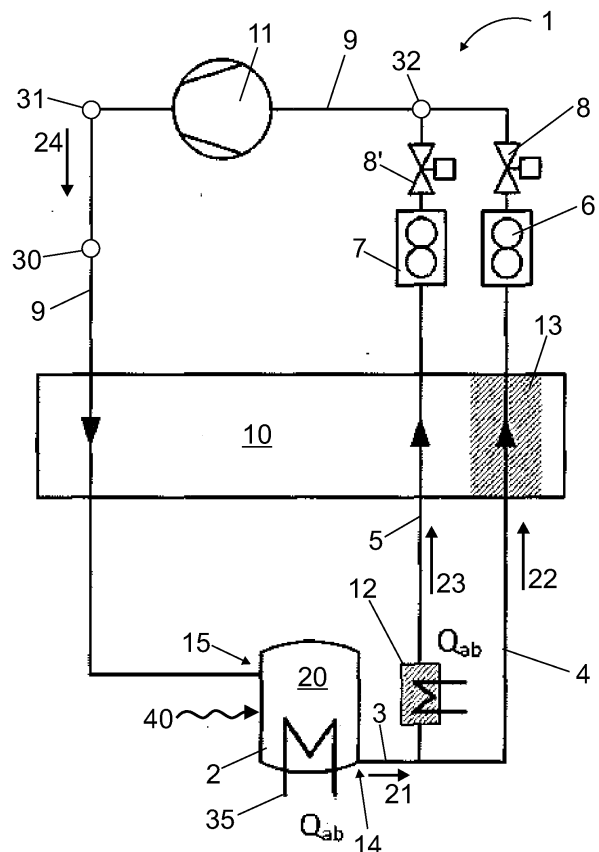
DE	101 06 483	A1
DE	12 54 656	B
US	2 937 076	A

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Stabilisierung einer Gemischzusammensetzung von Ortho- und Para-Wasserstoff in einem Flüssigwasserstoffreservoir**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Einstellung einer im Wesentlichen konstanten Gemischzusammensetzung von Para-Wasserstoff und Ortho-Wasserstoff innerhalb eines Flüssigwasserstoffsreservoirs, unabhängig von einem temperaturbedingten thermodynamischen Gleichgewicht, wobei ein Eingangsmassenstrom in wenigstens zwei zur Erzielung verschiedener Gehalte an Para-Wasserstoff und Ortho-Wasserstoff unterschiedlich behandelte Teilstrome aufgeteilt wird, diese geregelt zusammengeführt und auf ein Zielgemischverhältnis eingestellt werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Flüssigwasserstoffreservoir vorzuschlagen, das mit Flüssigwasserstoff bei einer beliebig einstellbaren Konzentration von Ortho- zu Para-Wasserstoff versehen werden soll, wobei die Ortho-Wasserstoffmoleanteile zwischen 0,75 und ca. 0 bzw. Para-Wasserstoffanteile zwischen ca. 1 und 0,25 liegen und dieses Gemischverhältnis in dem Flüssigwasserstoffreservoir über die Zeit konstant gehalten werden kann.

Die Aufgabe wird gelöst, indem der Eingangsmassenstrom aus dem Flüssigwasserstoffsreservoir entnommen und als Ausgangsmassenstrom in das Flüssigwasserstoffsreservoir rückgeführt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Einstellung und Stabilisierung einer im Wesentlichen konstanten Gemischzusammensetzung von Ortho-(o-H₂)Wasserstoff und Para-(p-H₂)Wasserstoff innerhalb eines Flüssigwasserstoffreservoirs unabhängig von dem temperaturabhängigen thermodynamischen Gleichgewichtszustand.

[0002] Unter normalen Bedingungen ist Wasserstoffgas H₂ ein Gemisch von Molekülen in zwei Zuständen, die sich durch die „Richtung“ ihrer Kernspins zueinander unterscheiden. Diese beiden Formen werden als Ortho- und Para-Wasserstoff bezeichnet. Bei Ortho-Wasserstoff haben die Kernspins die gleiche (parallele) Richtung, während sie beim Para-Wasserstoff entgegengesetzte (antiparallele) Richtung aufweisen. Ortho-Wasserstoff ist die energiereichere Form. Die beiden Formen können unter Energieaufnahme bzw. -abgabe ineinander übergehen und stehen miteinander in einem dynamischen, temperaturabhängigen Gleichgewicht. Die gegenseitige Umwandlung verläuft über die Dissoziation der Moleküle und die anschließende Rekombination der Atome, wobei die Spinkopplung entsprechend der Gleichgewichtslage erfolgt. Daneben sind weitere Mechanismen bekannt, wie z. B. die Umwandlung an einem Katalysator, wobei es zu Dissoziation oder Wechselwirkung mit einem paramagnetischen Zentrum kommt. Die natürliche Umwandlung erfolgt auch in der Weise, dass ein magnetisches Dipolmoment eines Orthowasserstoffmoleküls mit einem anderen Orthowasserstoffmolekül wechselwirkt als statistischer Vorgang, bis die Gleichgewichtskonzentration erreicht ist.

[0003] Im reinen Gas dauert bei tiefen Temperaturen die Einstellung des Gleichgewichts Monate, da die Wechselwirkungen zwischen den Kernen und der Hülle extrem schwach sind. Für diese Zeiten liegt damit praktisch eine Mischung von zwei unterschiedlichen Gasen vor. Trotz gleicher chemischer Zusammensetzung H₂ unterscheiden sie sich sogar makroskopisch durch deutlich verschiedenen Temperaturverlauf der spezifischen Wärme.

[0004] Ortho- und Parawasserstoff haben verschiedene Energiegehalte, die Ortho-Form ist die energiereichere. Mit steigender Temperatur verschiebt sich das Gleichgewicht zugunsten von Orthowasserstoff. Am absoluten Nullpunkt findet man ausschließlich Para-Wasserstoff. Da es für antiparallele Kernspins (gesamte Spinquantenzahl S=0) nur einen Spinzustand gibt, bei parallelen Kernspins (S=1) aber drei Zustände verschiedener Orientierung im Raum, liegen im Gleichgewicht unter Standardbedingungen (Raumtemperatur) 25 % des Wasserstoffs als Para-Wasserstoff und 75 % als Ortho-Wasserstoff vor. Über diesen Anteil hinaus kann der Anteil des Ortho-

Wasserstoffs im thermodynamischen Gleichgewicht nicht gesteigert werden.

[0005] Bei der industriellen Herstellung von flüssigem Wasserstoff spielt der Übergang zwischen Ortho- und Para-Wasserstoff eine wichtige Rolle, weil bei der Temperatur der Verflüssigung das Gleichgewicht schon stark zur Para-Form hin tendiert und sich spätestens im flüssigen Zustand dann schnell einstellt. Damit die dabei frei werdende Wärme nicht gleich einen Teil der gewonnenen Flüssigkeit wieder verdampfen lässt, beschleunigt man die Einstellung des neuen Gleichgewichts schon im gasförmigen Zustand durch den Einsatz von Katalysatoren.

[0006] So beschreibt die Druckschrift DE 101 06 483 A1 ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verflüssigen von Wasserstoff, deren Aufgabe es ist, eine Variation hinsichtlich des Umwandlungsgrades von Ortho-Wasserstoff zu Para-Wasserstoff zu ermöglichen. Dies wird erreicht durch wenigstens einen Ortho-para-Umwandlungskatalysator, der durch einen Teilstrom umgangen werden kann. Nachteilig ist jedoch, dass zwar bei der Verflüssigung der Umwandlungsgrad eingestellt, jedoch die Veränderung durch natürliche Umwandlung nicht beeinflusst werden kann. Dadurch ändert sich der Umwandlungsgrad und das Verhältnis von Ortho-Wasserstoff zu Para-Wasserstoff verlässt den gewünschten Bereich mit der Zeit.

[0007] Die Realisierung eines geschlossenen Kreislaufes mit definiert-variablen Konzentrationsverhältnissen Ortho-(o-H₂) zu Para-Wasserstoff (p-H₂) bei Temperaturen unterhalb der Normtemperatur (273, 15 K oder 0 °C) stellt aufgrund der temperaturabhängigen Gleichgewichtszusammensetzung und der natürlichen Umwandlung zwischen den beiden Modifikationen aufgrund des Dipolmoments von oH 2 ein bisher ungelöstes Problem dar.

[0008] Des Weiteren sind noch zum Stand der Technik zu nennen die DE 1 254 656 B und die US 2 937 076 A.

[0009] Der Stand der Technik bietet hier keine zufriedenstellende Lösung an. Entweder ist die Einstellung des exakten Mischungsverhältnisses nicht Gegenstand der in Betracht gezogenen technischen Lösungen oder es handelt sich um einen offenen Prozess mit vergleichsweise großem Wasserstoffverbrauch, bei dem die Umwandlung während der Abkühlung des Wasserstoffes realisiert wird.

[0010] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Flüssigwasserstoffreservoir vorzuschlagen, dass mit Flüssigwasserstoff bei einer beliebig einstellbaren Konzentration von Ortho- zu Para-Wasserstoff versehen werden soll, wobei die Ortho-Wasserstoffmolekteile zwischen 0,75 und ca. 0 bzw. Pa-

ra-Wasserstoffanteile zwischen ca. 1 und 0,25 liegen und dieses Gemischverhältnis in dem Flüssigwasserstoffreservoir über die Zeit konstant gehalten werden kann.

[0011] Die Aufgabe wird gelöst jeweils durch die Merkmale der beiden unabhängigen Patentanprüche. Vorteilhafte Ausgestaltungen dazu sind in den abhängigen Patenansprüchen genannt. Erfindungsgemäß ist zunächst ein Verfahren zur Einstellung einer im Wesentlichen konstanten Gemischzusammensetzung von Para-Wasserstoff und Ortho-Wasserstoff innerhalb eines Flüssigwasserstoffreservoirs unabhängig von einem temperaturbedingten thermodynamischen Gleichgewicht, wobei ein Eingangsmassenstrom bevorzugt kontinuierlich in wenigstens zwei zur Beeinflussung der Gehalte an Para-Wasserstoff und Ortho-Wasserstoff unterschiedlich behandelte Teilströme aufgeteilt wird, diese geregelt zusammengeführt und auf ein Zielgemischverhältnis eingestellt werden, wobei der Eingangsmassenstrom aus dem Flüssigwasserstoffreservoir entnommen und als Ausgangsmassenstrom in das Flüssigwasserstoffreservoir rückgeführt wird. Die Erfindung ermöglicht nicht nur die gleichzeitige Einstellung der Konzentrationsverhältnisse der Allotrope Ortho- zu Parawasserstoff, sondern den Erhalt dieser Konzentrationsverhältnisse in dem Flüssigwasserstoffreservoir über unbestimmte Zeit und unter Kompensation der natürlichen Umwandlungsprozesse.

[0012] Vorteilhafter Weise wird der Eingangsmassenstrom in einen ersten Teilstrom und einen zweiten Teilstrom aufgeteilt. Der erste Teilstrom wird auf einer derart erhöhten Temperatur geführt, dass sich ein erhöhter Ortho-Wasserstoffanteil herausbildet, und der zweite Teilstrom mittels einer Wärmesenke bei Flüssigwasserstofftemperatur geführt wird, so dass eine nahezu vollständige Umwandlung in Para-Wasserstoff erfolgt. Ein Katalysator kann zudem eingesetzt werden, um diesen Effekt zu verstärken und einen höheren Anteil an Ortho-Wasserstoff für den ersten Teilstrom bzw. Parawasserstoff für den zweiten Teilstrom in kürzerer Zeit zu erhalten.

[0013] Dabei weist nach einer bevorzugten Ausführungsform der erste Teilstrom Raumtemperatur, hervorgerufen beispielsweise durch einen Wärmeübertrager und/oder durch eine Heizeinheit, auf und der Ortho-Wasserstoffanteil beträgt zwischen 75 % und 25 %. Der zweite Teilstrom weist eine Temperatur < 20 K auf.

[0014] Nach einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es jedoch vorgesehen, dass dieser erste Teilstrom generell bis auf einen Anteil von 75 % Orthowasserstoff umgewandelt wird. Dies hat den Vorteil, dass keine Kontrollmessung der Zusammensetzung des ersten Teilstroms im Kreislauf nötig ist (z. B. am Ausgang des

Behälters) sondern bei der Steuerung der Massenströme davon ausgegangen werden kann, dass der erste Teilstrom einen dauerhaft konstanten Anteil an Orthowasserstoff aufweist. Wenn demnach genau vorhergesagt werden kann, dass der erste Teilstrom möglichst genau eine erste Konzentration aufweist und der zweite Teilstrom möglichst genau eine zweite Konzentration, ist es möglich, durch das Massenstromverhältnis die Mischkonzentration einzustellen. Dadurch wird die Vorrichtung nochmals vereinfacht und weniger stör anfällig.

[0015] In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel weist der erste Teilstrom unterhalb des Gegenstromwärmeübertragers, als in Strömungsrichtung vor diesem, eine Temperatur < 20 K auf und wird auf Raumtemperatur erwärmt. Der zweite Teilstrom weist unterhalb des Gegenstromwärmeübertragers ebenfalls eine Temperatur < 20 K auf und oberhalb etwa Raumtemperatur.

[0016] Durch die jeweilige Größe der Einzelströme kann das Mischungsverhältnis auf ein exaktes Maß an Ortho- zu Para-Wasserstoff zwischen nahe 0 bis einschließlich nahe 75 % Ortho-Wasserstoff zu zwischen nahe 100 % bis einschließlich nahe 25 % Para-Wasserstoff eingestellt werden.

[0017] Nach einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist auch der Ausgangsmassenstrom Raumtemperatur auf und wird nach dem Passieren eines Verdichters oder Verdrängers abgekühlt, beispielsweise in einem Wärmeübertrager, der die Wärme an wenigstens einen Teilstrom des Eingangsmassenstroms abgibt. Vorteilhaft ist es daher, wenn die Sekundärleitung einen Verdichter oder Verdränger aufweist. Danach wird der das Zielgemischverhältnis aufweisende, abgekühlte Ausgangsmassenstrom in das Flüssigwasserstoffreservoir einkondensiert.

[0018] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Abkühlung des Ausgangsmassenstroms durch denselben Wärmeübertrager im Gegenstrom erfolgt, in dem auch die beiden Teilströme, oder zumindest einer davon, erwärmt werden. Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht einen Wärmeübertrager vor, der mit wenigstens einer Katalysatoreinheit für wenigstens einen Teilstrom ausgestattet ist. Es ist auch vorgesehen, dass die Abkühlung durch einen Kondensator oder einen Kryokühler erfolgt.

[0019] Erfindungsgemäß ist weiterhin eine Vorrichtung zur Einstellung einer im Wesentlichen konstanten Gemischzusammensetzung von Para-Wasserstoff und Ortho-Wasserstoff innerhalb eines Flüssigwasserstoffreservoirs unabhängig von einem temperaturbedingten thermodynamischen Gleichgewicht, wobei eine Primärleitung für einen Eingangsmassenstrom vorgesehen ist, die sich in wenigstens

zwei Prozessleitungen für unterschiedlich behandelbare Teilströme aufspaltet, aufweisend Ventile zur geregelten Zusammenführung der Teilströme zu einem Ausgangsmassenstrom, aufweisend ein Zielgemischverhältnis, in einer Sekundärleitung, wobei die Primärleitung in einem ersten Bereich und die Sekundärleitung in einem zweiten Bereich mit dem Flüssigwasserstoffreservoir verbunden ist.

[0020] Besondere Vorteile resultieren, wenn eine erste Prozessleitung für den ersten Teilstrom und eine zweite Prozessleitung für den zweiten Teilstrom vorgesehen sind, wobei an der ersten Prozessleitung ein bevorzugt großzügig dimensionierter Katalysator vorgesehen ist, in dem der erste Teilstrom auf in der Weise erhöhter Temperatur führbar ist, dass sich die Gleichgewichtskonzentration dieser Temperatur einstellen kann, und an der zweiten Prozessleitung ein bevorzugt großzügig dimensionierter Katalysator mit einer Wärmesenke vorgesehen ist, in dem der zweite Teilstrom bei Flüssigwasserstofftemperatur führbar ist, so dass eine nahezu vollständige Umwandlung in Para-Wasserstoff erfolgt.

[0021] Es hat sich als günstig erwiesen, wenn ein Gegenstromwärmeübertrager vorgesehen ist, der mit der Sekundärleitung einerseits und den Prozessleitungen andererseits in der Weise verbunden ist, dass die Wärme aus der Sekundärleitung in die Prozessleitungen übertragen wird.

[0022] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung des Ausführungsbeispiels mit Bezugnahme auf die zugehörige Zeichnung.

[0023] Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung 1 zur Einstellung einer im Wesentlichen konstanten Gemischzusammensetzung von Ortho-(o-H₂)Wasserstoff und Para-Wasserstoff (p-H₂) innerhalb eines Flüssigwasserstoffreservoirs 2. Der im Flüssigwasserstoffreservoir 2 gespeicherte Flüssigwasserstoff 20 wird dazu in einem Kreislauf gefahren, der eine Primärleitung 3 umfasst, die einen Eingangsmassenstrom 21 aufnimmt. Die Primärleitung 3 verzweigt sich danach in zwei Prozessleitungen, eine erste Prozessleitung 4 mit einem ersten Teilstrom 22 und eine zweite Prozessleitung 5 mit einem zweiten Teilstrom 23.

[0024] Der erste Teilstrom 22 wird durch einen Gegenstromwärmetauscher 10 geführt und dabei auf Raumtemperatur erwärmt. Zudem ist alternativ oder zusätzlich eine Heizeinheit (hier nicht dargestellt) vorgesehen. In der Weise resultiert in dem ersten Teilstrom 22 ein erhöhter Ortho-Wasserstoffanteil, wozu auch ein Katalysator 13 beiträgt, bevorzugt mit dem Gegenstromwärmetauscher 10 baulich verbunden und/oder als eine Katalysatorschüttung ausgeführt. Ein Ventil 8 steuert zusammen mit einem ersten Massestromregler 6 den ersten Teilstrom 22 in

der Weise, dass eine vorgesehene Menge des ersten Teilstroms 22 in eine Sekundärleitung 9 und damit in einen Ausgangsmassenstrom 24 mündet. Dabei ist der Massenstrom so groß, dass sich unter Berücksichtigung des Massenstroms des Ortho-Wasserstoffs die gewünschte Gemischzusammensetzung einstellt.

[0025] Ausgehend von dem Eingangsmassenstrom 21 wird ein zweiter Teilstrom 23 in eine zweite Prozessleitung 5 abgezweigt. Der zweite Teilstrom 23 wird dadurch bei Flüssigwasserstofftemperatur < 20 K geführt, so dass eine nahezu vollständige Umwandlung in Para-Wasserstoff erfolgt. Der zweite Teilstrom 23 wird in der bevorzugten Ausgestaltung durch einen Kryokühler 12, der als Wärmesenke dient, abgekühlt und durch einen zweiten Katalysator 7 geleitet, was die Umwandlung in Para-Wasserstoff beschleunigt. Auch der zweite Teilstrom 23 wird mittels eines Ventils 8' und des zweiten Massestromreglers 7 gesteuert, um einen vorgesehenen Anteil am Ausgangsmassenstrom 24 zu bilden. Die Führung des zweiten Teilstroms 23 durch den Gegenstromwärmetauscher 10 kann nach einer alternativen Ausführungsform auch unterbleiben und der zweite Teilstrom 23 stattdessen an dem Gegenstromwärmetauscher 10 vorbeigeführt werden. Dann unterbleibt die Erwärmung und die natürliche Umwandlung zu Ortho-Wasserstoff wird gebremst.

[0026] Der Ausgangsmassenstrom 24 als Summe der Teilströme 22, 23 wird im weiteren Verlauf in einem Verdichter 11 verdichtet. Die dabei frei werdende Wärme wird in den Gegenstromwärmeübertrager 10 abgegeben oder vorher direkt nach der Verdichtung auf Raumtemperatur rückgekühlt. Das kann beispielsweise durch eine Wasserkühlung erfolgen. Das so gekühlte Gemisch aus Ortho- und Para-Wasserstoff wird danach in das Flüssigwasserstoffreservoir 2 einkondensiert. Dabei ist die Primärleitung 3 in einem ersten Bereich 14 und die Sekundärleitung 9 in einem zweiten Bereich 15 mit dem Flüssigwasserstoffreservoir 2 verbunden, so dass ein Kurzschlussstrom durch das Flüssigwasserstoffreservoir 2 vermieden wird.

[0027] Im praktischen Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind einige Zusatzeinrichtungen von Vorteil, die nachfolgend entsprechend der schematischen Darstellung in Fig. 1 beschrieben werden.

[0028] Bei einer Verwendung des Flüssigwasserstoffs 20 in der Praxis kann ein Eintrag von hochenergetischer Strahlung 40 vorgesehen sein, beispielsweise zur Moderation von Neutronenstrahlung. Die Einstrahlung kann extern, z. B. in einem zusätzlich vorgesehenen Fluidkreis, erfolgen oder gemäß Darstellung unmittelbar in das mit Flüssigwasserstoff 20 gefüllte Flüssigwasserstoffreservoir 2. Die Einstrahlung hat zur Folge, dass Energie eingetragen wird

und Wasserstoff verdampft. Dieser Energieeintrag kann auf unterschiedliche Weise kompensiert werden, beispielsweise durch größere Massenströme, als sie für ein konstantes Konzentrationsverhältnis im Flüssigwasserstoff **20** nötig wären, durch die erfindungsgemäße Vorrichtung in ihrer ursprünglichen Ausführungsform.

[0029] Hierbei ist eine effizientere Prozessausgestaltung von Vorteil, wie sie durch einen Verdichter **11** mit höherer Druckstufe oder einen entsprechenden Kompressorensatz erreicht werden kann, wenn diese mit einer oder mehreren Entspannungsorganen **30** (in **Fig. 1** nur als Punkt angedeutet und gemäß Stand der Technik auszuführen) kombiniert sind. Als Entspannungsorgane **30** kommen beispielsweise ein oder mehrere Drosselventile, Kolben oder Turboexpander in Betracht. Eine solche effizientere Prozessausgestaltung ist jedoch nicht beschränkt auf einen Einsatz in Zusammenhang mit der Abfuhr eines zusätzlichen Energieeintrags.

[0030] Eine andere Möglichkeit den Energieeintrag zu kompensieren besteht darin, die Wärmesenke **35** so auszugestalten, dass auf dem erforderlichen Temperaturniveau eine ausreichend große Energiemenge abgeführt werden kann. Dies beispielsweise durch eine Sekundärkreis erfolgen, der an eine Kältemaschine angeschlossen ist und den Flüssigwasserstoff **20** unter seine Siedetemperatur bringt.

[0031] Ein weiteres vorteilhaftes Ausführungsbeispiel weist einen Speicherbehälter für Prozessgas außerhalb des Fluidkreislaufs auf. Dieser dient dazu, einen variablen Mitteldruck einzustellen, da unterschiedliche Wärmeströme bzw. Konzentrationen von von Ortho-(o-H₂)Wasserstoff und Para-(p-H₂)Wasserstoff zu verschiedenen Temperaturverteilungen und Drücken im System führen können.

[0032] Der hier nicht dargestellte Speicherbehälter für Prozessgas ist mit einer ersten Zuleitung an der Hochdruckseite über dem Verdichter an dem Anschluss **31** und mit einer zweiten Zuleitung an der Niederdruckseite unter dem Verdichter an dem Anschluss **32** angeschlossen. Die Zuleitungen sind jeweils über ein Ventil abtrenn- und regulierbar.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----------|-----------------------------|
| 1 | Vorrichtung |
| 2 | Flüssigwasserstoffreservoir |
| 3 | Primärleitung |
| 4 | erste Prozessleitung |
| 5 | zweite Prozessleitung |
| 6 | erster Massenstromregler |
| 7 | zweiter Massenstromregler |

- | | |
|-----------|--|
| 8 | Ventil |
| 9 | Sekundärleitung |
| 10 | Wärmeübertrager, Gegenstromwärmeübertrager |
| 11 | Verdichter |
| 12 | Wärmesenke, Kryokühler |
| 13 | Katalysatoreinheit |
| 14 | erster Bereich |
| 15 | zweiter Bereich |
| 20 | Flüssigwasserstoff |
| 21 | Eingangsmassenstrom |
| 22 | erster Teilstrom |
| 23 | zweiter Teilstrom |
| 24 | Ausgangsmassenstrom |
| 30 | Entspannungskaskade |
| 31 | Anschluss Gasspeicher (Hochdruckseite) |
| 32 | Anschluss Gasspeicher (Niederdruckseite) |
| 35 | Wärmesenke |
| 40 | Strahlung |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Einstellung und Stabilisierung einer im Wesentlichen konstanten Gemischzusammensetzung von Para-Wasserstoff und Ortho-Wasserstoff innerhalb eines Flüssigwasserstoffreservoirs (2), unabhängig von einem temperaturbedingten thermodynamischen Gleichgewicht, wobei ein Eingangsmassenstrom (21) in wenigstens zwei zur Erzielung verschiedener Gehalte an Para-Wasserstoff und Ortho-Wasserstoff unterschiedlich behandelte Teilstrome (22, 23) aufgeteilt wird, diese geregelt zusammengeführt und auf ein Zielgemischverhältnis eingestellt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Eingangsmassenstrom (21) aus dem Flüssigwasserstoffreservoir (2) entnommen und als Ausgangsmassenstrom (24) in das Flüssigwasserstoffreservoir (2) rückgeführt wird, wobei der Eingangsmassenstrom (21) in einen ersten Teilstrom (22) und einen zweiten Teilstrom (23) aufgeteilt wird, der erste Teilstrom (22) auf einer derart erhöhten Temperatur geführt wird, dass sich ein erhöhter Ortho-Wasserstoffanteil bis zu einem thermodynamischen Gleichgewichtszustand herausbildet, und der zweite Teilstrom (23) bei Flüssigwasserstofftemperatur geführt wird, so dass eine nahezu vollständige Umwandlung in Para-Wasserstoff erreicht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der erste Teilstrom (22) nach einer Erwärmung in einem Wärmeübertrager (10) Raumtemperatur aufweist und der

Ortho-Wasserstoffanteil zwischen 75 % und 25 % beträgt.

der Sekundärleitung (9) in die Prozessleitung (4, 5) übertragbar ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Ortho-Wasserstoffanteil nahe 75 % beträgt.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der zweite Teilstrom (23) eine Temperatur < 20 K aufweist.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Ausgangsmassenstrom (21) Raumtemperatur aufweist und nach dem Passieren eines Verdichters (11) oder Verdrängers abgekühlt und danach in das Flüssigwasserstoffreservoir (2) einkondensiert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Abkühlung durch denselben Wärmeübertrager (10) im Gegenstrom erfolgt, in dem auch wenigstens einer der beiden Teilströme (22, 23) erwärmt wird.

7. Vorrichtung zur Einstellung einer im Wesentlichen konstanten Gemischzusammensetzung von Para-Wasserstoff und Ortho-Wasserstoff innerhalb eines Flüssigwasserstoffreservoirs (2) unabhängig von einem temperaturbedingten thermodynamischen Gleichgewicht, wobei eine Primärleitung (3) für einen Eingangsmassenstrom (21) vorgesehen ist, die sich in wenigstens eine erste und eine zweite Prozessleitung (4, 5) für unterschiedlich behandelbare Teilströme (22, 23) aufspaltet, aufweisend Ventile (8, 8') zur geregelten Zusammenführung der Teilströme (22, 23) zu einem Ausgangsmassenstrom (24), aufweisend ein Zielgemischverhältnis, in einer Sekundärleitung (9), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Primärleitung (3) in einem ersten Bereich (14) und die Sekundärleitung (9) in einem zweiten Bereich (15) mit dem Flüssigwasserstoffreservoir (2) verbunden ist, wobei die erste Prozessleitung (4) für den ersten Teilstrom (22) und die zweite Prozessleitung (5) für den zweiten Teilstrom (23) vorgesehen sind, wobei an der ersten Prozessleitung (4) ein Katalysator (13) vorgesehen ist, in dem der erste Teilstrom (22) auf in der Weise erhöhter Temperatur führbar ist, und an der zweiten Prozessleitung (5) eine Wärmesenke (12) vorgesehen ist, so dass der zweite Teilstrom (23) bei Flüssigwasserstofftemperatur führbar ist, so dass eine nahezu vollständige Umwandlung in Para-Wasserstoff erfolgen kann.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei die Sekundärleitung (9) einen Verdichter (11) oder Verdränger aufweist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, wobei ein Gegenstromwärmeübertrager (10) vorgesehen ist, der mit der Sekundärleitung (9) einerseits und wenigstens einer der Prozessleitungen (4, 5) andererseits in der Weise verbunden ist, dass die Wärme aus

Anhängende Zeichnungen

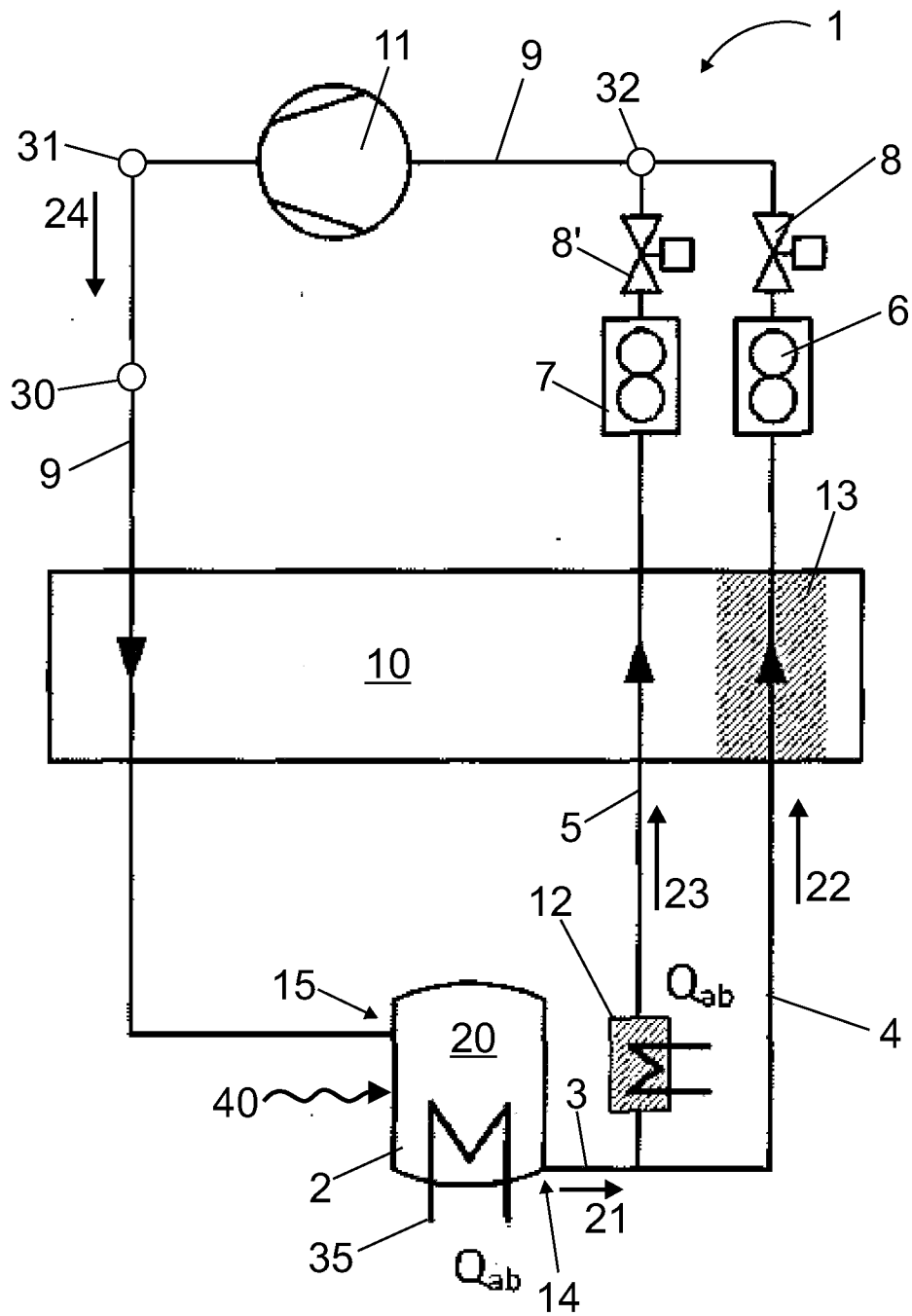


Fig. 1