

(19)



(11)

EP 4 571 171 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
18.06.2025 Patentblatt 2025/25

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F17C 9/04^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23020549.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F17C 9/04; F17C 2201/0109; F17C 2201/035;
F17C 2201/054; F17C 2203/032; F17C 2203/0391;
F17C 2203/0629; F17C 2205/0326; F17C 2221/012;
F17C 2223/0161; F17C 2223/033; F17C 2223/046;
F17C 2225/0115; F17C 2225/0123;
F17C 2227/0107; (Forts.)

(22) Anmeldetag: **14.12.2023**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

- **Wellenhofer, Kathrin**
82049 Pullach (DE)
- **Herrenkind, Jonas**
82049 Pullach (DE)
- **Wellenhofer, Anton**
82049 Pullach (DE)

(71) Anmelder: **Linde GmbH**
82049 Pullach (DE)

(74) Vertreter: **Meilinger, Claudia Sabine**
Linde GmbH
Intellectual Property EMEA
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)

(72) Erfinder:
• **Toneva, Petya**
82049 Pullach (DE)

(54) VERFAHREN UND FÖRDERVORRICHTUNG

(57) Ein Verfahren zum Fördern eines Kryogens (H2) von einem Speicherbehälter (2) zu einem Verbraucher (3), mit folgenden Schritten: a) Einleiten (S1) des Kryogens (H2) aus dem Speicherbehälter (2) in einen ersten Konditionierbehälter (8), b) Einbringen (S2) von Wärme (Q) in das in dem ersten Konditionierbehälter (8) aufgenommene Kryogen (H2), wodurch das Kryogen (H2) in seinen überkritischen Zustand verbracht wird, c) Ablassen (S3) einer gasförmigen Phase (GH2) des Kryogens (H2) aus einem zweiten Konditionierbehälter (9) in den Speicherbehälter (2), wobei die Schritte b) und c) gleichzeitig durchgeführt werden, und wobei während des Schritts c) Wärme (Q) von der gasförmigen Phase (GH2) auf das in dem ersten Konditionierbehälter (8) aufgenommene Kryogen (H2) übertragen wird, und d) Ausleiten (S4) des Kryogens (H2) aus dem ersten Konditionierbehälter (8) zu dem Verbraucher (3), wobei das in dem ersten Konditionierbehälter (8) aufgenommene Kryogen (H2) während des Schritts d) in dem überkritischen Zustand gehalten wird.

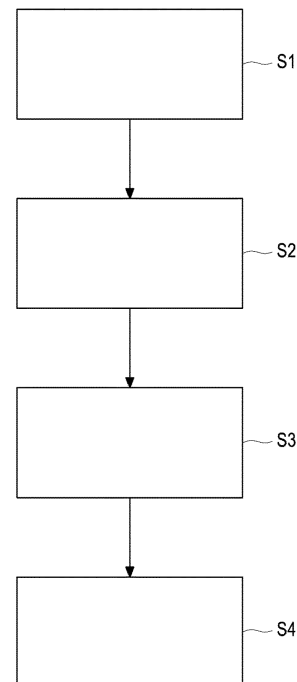


Fig. 3

EP 4 571 171 A1

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC): (Forts.)
F17C 2227/0304; F17C 2227/0306;
F17C 2227/0325; F17C 2227/0327;
F17C 2227/0369; F17C 2227/0393; F17C 2250/01;
F17C 2260/016; F17C 2265/066; F17C 2270/0105

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Fördern eines Kryogens und eine Fördervorrichtung zum Fördern eines Kryogens.

[0002] Speicherbehälter für flüssigen Wasserstoff können gemäß betriebsinternen Erkenntnissen einen Druckaufbauverdampfer aufweisen, welcher es ermöglicht, innerhalb des Speicherbehälters einen Druck aufzubauen, so dass gasförmiger Wasserstoff einem Verbraucher, beispielsweise in Form einer Brennstoffzelle, mit einem stabilen Versorgungsdruck von etwa 6 bara zur Verfügung gestellt werden kann. Bei einem Betrieb eines derartigen Speicherbehälters im maritimen Bereich, kann die natürliche Bewegung durch den Seegang dazu führen, dass die Betriebsbedingungen in dem Speicherbehälter nur sehr schwer so stabil gehalten werden können, dass der erforderliche Versorgungsdruck für die Brennstoffzelle konstant bereitgestellt werden kann.

[0003] Es ist ferner betriebsinterner Stand der Technik bekannt, bei dem der Wasserstoff in dem Speicherbehälter annähernd drucklos gelagert wird. In diesem Fall wird der Wasserstoff mit Hilfe einer Kryopumpe gefördert und der Brennstoffzelle mit dem zuvor erwähnten Versorgungsdruck zugeführt. Eine derartige Kryopumpe weist jedoch bewegliche Teile auf, was zu einem gewissen Wartungsaufwand und damit zu Stillstandszeiten führen kann. Weiterhin ist es gemäß betriebsinternen Erkenntnissen auch möglich, den Wasserstoff vor der Brennstoffzelle zu verdampfen und anschließend zu verdichten, um den erforderlichen Versorgungsdruck zu erreichen. Dies ist jedoch energetisch ungünstig.

[0004] Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein verbessertes Verfahren zum Fördern eines Kryogens zur Verfügung zu stellen.

[0005] Demgemäß wird ein Verfahren zum Fördern eines Kryogens von einem Speicherbehälter zu einem Verbraucher vorgeschlagen. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte: a) Einleiten des Kryogens aus dem Speicherbehälter in einen ersten Konditionierbehälter, b) Einbringen von Wärme in das in dem ersten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen, wodurch das Kryogen in seinen überkritischen Zustand verbracht wird, c) Abblasen einer gasförmigen Phase des Kryogens aus einem zweiten Konditionierbehälter in den Speicherbehälter, wobei die Schritte b) und c) gleichzeitig durchgeführt werden, und wobei während des Schritts c) Wärme von der gasförmigen Phase auf das in dem ersten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen übertragen wird, und d) Ausleiten des Kryogens aus dem ersten Konditionierbehälter zu dem Verbraucher, wobei das in dem ersten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen während des Schritts d) in dem überkritischen Zustand gehalten wird.

[0006] Dadurch, dass das in dem ersten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen in dem überkritischen Zustand gehalten wird und somit keine Phasen-

grenze vorhanden ist, hat eine Bewegung des ersten Konditionierbehälters, beispielsweise bei hohem Seegang, keine negativen Auswirkungen auf die Temperaturverteilung innerhalb des ersten Konditionierbehälters.

5 Ferner kann der Speicherbehälter bei einem möglichst niedrigen Druck betrieben werden. Dies verlängert die Haltezeit des Kryogens. Dadurch, dass bei dem Abblasen der gasförmigen Phase Wärme von der gasförmigen Phase auf das sich in dem ersten Konditionierbehälter befindende Kryogen übertragen wird, wird zum einen ein Eintrag von Wärme in den Speicherbehälter reduziert, was ebenfalls die Haltezeit des Kryogens erhöht, und zum anderen kann hierdurch ein Heizelement zum Beheizen des ersten Konditionierbehälters kleiner dimensioniert werden.

10 **[0007]** Zur Durchführung des Verfahrens sind bevorzugt der erste Konditionierbehälter und der zweite Konditionierbehälter vorgesehen, welche wechselseitig oder intermittierend betrieben werden können. Besonders bevorzugt wird das Verfahren jedoch mit mehr als zwei Konditionierbehältern, beispielsweise mit drei Konditionierbehältern, durchgeführt. Die Schritte a), b), c) und d) werden bevorzugt wechselweise zwischen den Konditionierbehältern durchgeführt. Der Schritt b) oder das
15 Verbringen des Kryogens in seinen überkritischen Zustand kann auch als Konditionierung oder Konditionierungsvorgang bezeichnet werden. Die Konditionierbehälter sind bevorzugt Teil einer Fördervorrichtung zum Fördern des Kryogens. Das heißt insbesondere, dass das Verfahren mit Hilfe der Fördervorrichtung durchgeführt wird.
20 Im Folgenden kann unter dem Begriff "Konditionierbehälter" sowohl der erste Konditionierbehälter als auch der zweite Konditionierbehälter zu verstehen sein.

[0008] Das Kryogen ist vorzugsweise Wasserstoff. Die Begriffe "Kryogen" und "Wasserstoff" können daher vorliegend beliebig miteinander getauscht werden. Grundsätzlich kann das Kryogen jedoch auch ein beliebiges anderes Kryogen sein. Beispiele für kryogene Fluide oder Flüssigkeiten, oder kurz Kryogene, sind neben dem zuvor erwähnten Wasserstoff flüssiges Helium, flüssiger Stickstoff oder flüssiger Sauerstoff. Unter einem "Kryogen" ist somit insbesondere eine Flüssigkeit zu verstehen. Das Kryogen kann auch verdampft und so in die gasförmige Phase überführt werden. Nach dem Verdampfen ist das Kryogen ein Gas oder kann als gasförmiges oder verdampftes Kryogen bezeichnet werden. Die gasförmige Phase kann kondensieren und hierdurch in eine flüssige Phase des Kryogens übergehen. Insbesondere wird der erste Konditionierbehälter bei dem Schritt a) mit der flüssigen Phase befüllt.

30 **[0009]** Unter einem "Kryogen" kann vorliegend insbesondere sowohl die flüssige als auch die gasförmige Phase des Kryogens zu verstehen sein. Die flüssige Phase kann insbesondere verdampft und so in die gasförmige Phase überführt werden. Umgekehrt kann die gasförmige Phase kondensieren und dadurch in die flüssige Phase überführt werden. Liegen sowohl die gasförmige Phase als auch die flüssige Phase gleichzeitig
35
40
45
50
55

vor, so befindet sich zwischen der flüssigen Phase und der gasförmigen Phase eine Phasengrenze. Das Kryogen befindet sich somit im Zweiphasengebiet. Insbesondere ist der Speicherbehälter sowohl mit der flüssigen Phase als auch mit der gasförmigen Phase befüllt. Das heißt, dass innerhalb des Speicherbehälters eine Phasengrenze vorgesehen ist.

[0010] Das Kryogen kann mit Hilfe von Phasenübergängen von der flüssigen Phase in die gasförmige Phase überführt werden. Dies bedeutet vorliegend insbesondere, dass die flüssige Phase durch einen Phasenübergang von flüssig zu gasförmig in die gasförmige Phase übergehen kann. Dabei verdampft die flüssige Phase. Umgekehrt kann die gasförmige Phase durch einen Phasenübergang von gasförmig zu flüssig in die flüssige Phase übergehen. Dabei kondensiert die gasförmige Phase. Das Kryogen weist somit zumindest zwei Aggregatzustände, nämlich flüssig und gasförmig, auf. Das Kryogen kann auch in eine feste Phase, beispielsweise in Form von Eis, übergehen.

[0011] Da der Speicherbehälter bevorzugt zur Aufnahme von Wasserstoff geeignet ist, kann der Speicherbehälter auch als Wasserstoff-Speicherbehälter oder als Wasserstoff-Speichertank bezeichnet werden. Der Verbraucher ist bevorzugt eine Brennstoffzelle. Unter einer "Brennstoffzelle" ist vorliegend eine galvanische Zelle zu verstehen, welche die chemische Reaktionsenergie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffs, vorliegend Wasserstoff, und eines Oxidationsmittels, vorliegend Sauerstoff, in elektrische Energie wandelt. Das Kryogen wird dem Verbraucher selbst insbesondere in gasförmiger Form mit einem definierten Versorgungsdruck zugeführt. Das heißt, das Kryogen wird vor dem Verbraucher oder stromaufwärts des Verbrauchers verdampft. Beispielsweise wird das Kryogen dem Verbraucher mit einem Versorgungsdruck von 6 bara und einer Temperatur von 10 bis 25 °C zugeführt.

[0012] Zum Einleiten des Kryogens aus dem Speicherbehälter in den jeweiligen Konditionierbehälter ist vorzugsweise eine zwischen dem Speicherbehälter und dem Konditionierbehälter verlaufende Entnahmeleitung vorgesehen. Dabei ist der Speicherbehälter bezüglich einer Schwerkraftrichtung bevorzugt oberhalb des Konditionierbehälters angeordnet, so dass das Kryogen allein aufgrund des hydrostatischen Drucks der flüssigen Phase von dem Speicherbehälter in den Konditionierbehälter strömt. Nach dem Einleiten des Kryogens aus dem Speicherbehälter in den Konditionierbehälter wird vorzugsweise ein zwischen dem Speicherbehälter und dem Konditionierbehälter vorgesehenes Ventil geschlossen. Das heißt, dass der Konditionierbehälter von dem Speicherbehälter separiert wird und ein abgeschlossenes System bildet.

[0013] In der Thermodynamik ist der kritische Punkt ein thermodynamischer Zustand eines Stoffes, vorliegend des Kryogens, der sich durch ein Angleichen der Dichten von flüssiger Phase und gasförmiger Phase kennzeichnet. An dem kritischen Punkt existiert somit

keine Phasengrenze mehr. Die Unterschiede zwischen den beiden vorgenannten Aggregatzuständen hören an dem kritischen Punkt auf zu existieren. Das Kryogen befindet sich dann in seinem überkritischen Zustand. An dem kritischen Punkt weist das Kryogen einen charakteristischen Druck und eine kritische Temperatur auf. Beispielsweise weist Wasserstoff einen kritischen Druck von 12,3 bara und eine kritische Temperatur von -239,9 °C auf.

[0014] Das Kryogen kann beispielsweise dadurch in den überkritischen Zustand gebracht werden, dass es unter Druck gesetzt wird. Beispielsweise kann in den Konditionierbehälter Wärme eingebracht werden, so dass der Druck in dem Konditionierbehälter ansteigt. Während des Schritts d) wird das Kryogen vorzugsweise ständig in dem überkritischen Zustand gehalten, so dass auch bei dem Ausleiten des Kryogens aus dem Konditionierbehälter der überkritische Zustand beibehalten wird, während der Verbraucher mit dem Kryogen versorgt wird.

[0015] Unter einem "Abblasen" der gasförmigen Phase des Kryogens ist vorliegend zu verstehen, dass die gasförmige Phase aus dem Konditionierbehälter in den Speicherbehälter geleitet wird. Dabei kann die gasförmige Phase in eine Gaszone oder in eine Flüssigkeitszone des Speicherbehälters eingeleitet werden. Die Wärme kann von der gasförmigen Phase auf das in dem Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen mit Hilfe eines an dem Konditionierbehälter vorgesehenen Rekuperators übertragen werden. Durch diesen Rekuperator, der beispielsweise als eine Rohrwinding ausgeführt sein kann, wird die gasförmige Phase hindurchgeleitet, wobei die gasförmige Phase Wärme an das in dem Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen abgibt. Dabei kühlt die gasförmige Phase ab und kann teilweise kondensieren.

[0016] Gemäß einer Ausführungsform wird während des Schritts c) die gasförmige Phase mit Hilfe eines Ventils, insbesondere mit Hilfe eines Joule-Thomson-Ventils, entspannt.

[0017] Das Ventil ist insbesondere stromabwärts des Rekuperators platziert. Bei dem Entspannen kann sich die gasförmige Phase teilweise verflüssigen. Die flüssige Phase wird dann dem Speicherbehälter zugeführt. Durch das Entspannen der gasförmigen Phase mit Hilfe des Ventils kann der gasförmigen Phase weiter Wärme entzogen werden, welche dann nicht in den Speicherbehälter eingebracht wird. Hierdurch wird die Haltezeit des Kryogens weiter verlängert.

[0018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird während des Schritts d) Wärme in das Kryogen eingebracht, um das Kryogen in dem überkritischen Zustand zu halten.

[0019] Dies kann mit Hilfe des zuvor erwähnten Rekuperators durch eine Übertragung von Wärme von der gasförmigen Phase auf das Kryogen erfolgen. Alternativ oder zusätzlich kann ein Heizelement in oder an dem Konditionierbehälter vorgesehen sein. Das Heizelement

kann beispielsweise ein elektrisches Heizelement sein. Das Heizelement kann auch ein Heizmedium aufweisen, mit dessen Hilfe die Wärme in das Kryogen eingebracht wird.

[0020] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird während des Schritts d) Wärme von der gasförmigen Phase auf das in dem ersten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen übertragen.

[0021] Hierdurch kann auch während des Schritts d) der Eintrag von Wärme mit Hilfe des Heizelements reduziert werden.

[0022] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird nach dem Schritt d) das Kryogen aus dem Speicherbehälter in den zweiten Konditionierbehälter eingeleitet, wobei Wärme in das in dem zweiten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen eingebracht wird, wodurch das Kryogen in seinen überkritischen Zustand verbracht wird, wobei die gasförmige Phase aus dem ersten Konditionierbehälter in den Speicherbehälter abgeblasen wird, wobei das Einbringen von Wärme und das Abblasen gleichzeitig durchgeführt werden, wobei während des Abblasens Wärme von der gasförmigen Phase auf das in dem zweiten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen übertragen wird, wobei das Kryogen aus dem zweiten Konditionierbehälter zu dem Verbraucher ausgeleitet wird, und wobei das in dem zweiten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen während des Ausleitens in dem überkritischen Zustand gehalten wird.

[0023] Mit anderen Worten werden die zuvor erwähnten Schritte a), b) und d) mit Hilfe des zweiten Konditionierbehälters und der Schritt c) wird mit Hilfe des ersten Konditionierbehälters durchgeführt. Wie zuvor erwähnt, werden die Konditionierbehälter somit wechselweise betrieben. Für den Fall, dass mehr als zwei Konditionierbehälter vorgesehen sind, ist insbesondere vorgesehen, dass stets einer der Konditionierbehälter in dem Schritt d) betrieben wird, so dass der Verbraucher kontinuierlich mit dem Kryogen versorgt werden kann.

[0024] Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden der erste Konditionierbehälter und der zweite Konditionierbehälter intermittierend betrieben.

[0025] Für den Fall, dass mehr als zwei Konditionierbehälter vorgesehen sind, werden die mehreren Konditionierbehälter intermittierend betrieben, wie zuvor bereits erläutert wurde. Hierdurch ist es möglich, dem Verbraucher einen kontinuierlichen Volumenstrom des Kryogens zuzuführen.

[0026] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird nach dem Schritt a) der erste Konditionierbehälter mit Hilfe eines Ventils von dem Speicherbehälter separiert, indem das Ventil geschlossen wird.

[0027] Umgekehrt kann nach dem Schritt a) auch der zweite Konditionierbehälter mit Hilfe eines derartigen Ventils von dem Speicherbehälter separiert werden. Das Ventil ist vorzugsweise ein Absperrventil. Das Ventil kann ein Auf-Zu-Ventil sein. Das heißt, das Ventil kann in zwei Zustände, nämlich in einen geöffneten Zustand und in einen geschlossenen Zustand, verbracht werden. Das

vorgenannte Ventil ist in oder an der zwischen dem Speicherbehälter und dem Konditionierbehälter vorgesehenen Entnahmeleitung vorgesehen.

[0028] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird bei dem Schritt d) ein zwischen dem ersten Konditionierbehälter und dem Verbraucher vorgesehenes Ventil geöffnet.

[0029] Dieses Ventil ist während des Schritts b) geschlossen. Ebenso ist dem zweiten Konditionierbehälter ein derartiges Ventil zugeordnet. Das Ventil ist jeweils stromabwärts des jeweiligen Konditionierbehälters platziert.

[0030] Gemäß einer weiteren Ausführungsform nimmt während des Schritts d) die Dichte des Kryogens ab.

[0031] Während des Abnehmens der Dichte wird das Kryogen kontinuierlich in dem überkritischen Zustand gehalten, und der Verbraucher wird mit dem Kryogen versorgt. Die Abnahme der Dichte resultiert daraus, dass während des Schritts d) das Kryogen dem jeweiligen Konditionierbehälter entnommen wird.

[0032] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird während des Schritts c) ein Betriebsdruck innerhalb des ersten Konditionierbehälters konstant gehalten.

[0033] Unter "konstant" kann vorliegend eine Abweichung von dem Betriebsdruck von ± 1 bara zu verstehen sein. Vorzugsweise wird der Betriebsdruck innerhalb des Konditionierbehälters auf 14 bara gehalten. Damit wird der Betriebsdruck über dem kritischen Druck gehalten.

[0034] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird der Schritt d) nach Erreichen einer vorbestimmten Temperatur beendet.

[0035] Die vorbestimmte Temperatur beträgt beispielsweise -230 °C. Nach dem Erreichen der vorbestimmten Temperatur wird vorzugsweise keine Wärme mehr in den Konditionierbehälter eingebracht.

[0036] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird der erste Konditionierbehälter bis zum Erreichen eines Versorgungsdrucks des Verbrauchers entspannt.

[0037] Der Versorgungsdruck liegt beispielsweise bei 6 bara. Dadurch, dass der Konditionierbehälter in den Verbraucher entspannt wird, kann der Konditionierbehälter weiter entleert werden.

[0038] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird der erste Konditionierbehälter ab dem Erreichen des Versorgungsdrucks in den Speicherbehälter entspannt.

[0039] Das heißt, sobald der Druck in dem Konditionierbehälter unter den Versorgungsdruck abfällt, wird das Kryogen nicht mehr dem Verbraucher, sondern dem Speicherbehälter zugeführt. Dabei ist das Kryogen gasförmig. Der gasförmigen Phase wird dann bei dem Zuführen zu dem Speicherbehälter Wärme entzogen, um das Kryogen in einem der Konditionierbehälter aufzuwärmen. Bei dem Zuführen zu dem Speicherbehälter kann das Kryogen entweder von oben, das heißt in die Gaszone des Speicherbehälters, seitlich oder von unten, das heißt in die Flüssigkeitszone des Speicherbehälters, in den Speicherbehälter eingeleitet werden. Im letztgenannten Fall ist eine zumindest teilweise Kondensation

der gasförmigen Phase in dem Speicherbehälter möglich.

[0040] Ferner wird eine Fördervorrichtung zum Befördern eines Kryogens von einem Speicherbehälter zu einem Verbraucher vorgeschlagen. Die Fördervorrichtung umfasst einen ersten Konditionierbehälter, der zwischen dem Speicherbehälter und dem Verbraucher angeordnet ist, und einen zweiten Konditionierbehälter, der zwischen dem Speicherbehälter und dem Verbraucher angeordnet ist. Dabei ist die Fördervorrichtung dazu eingerichtet, das Kryogen aus dem Speicherbehälter in den ersten Konditionierbehälter einzuleiten, Wärme in das in dem ersten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen einzubringen, um das Kryogen in seinen überkritischen Zustand zu verbringen, eine gasförmige Phase des Kryogens aus dem zweiten Konditionierbehälter in den Speicherbehälter abzublasen, während des Abblasens Wärme von der gasförmigen Phase auf das in dem ersten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen zu übertragen, das Kryogen aus dem ersten Konditionierbehälter zu dem Verbraucher auszuleiten und das in den ersten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen während des Ausleitens in dem überkritischen Zustand zu halten.

[0041] Das vorgenannte Verfahren wird insbesondere mit Hilfe der Fördervorrichtung durchgeführt. Die Fördervorrichtung kann beliebige viele derartige Konditionierbehälter aufweisen. Die Fördervorrichtung weist jedoch zumindest zwei Konditionierbehälter auf. Die Fördervorrichtung kann jedoch auch drei, vier, fünf oder mehr als fünf Konditionierbehälter aufweisen. Der Speicherbehälter kann Teil der Fördervorrichtung sein. Dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Wie zuvor erwähnt, werden die Konditionierbehälter intermittierend betrieben, so dass beispielsweise das Kryogen aus dem Speicherbehälter in den zweiten Konditionierbehälter eingeleitet wird, Wärme in das in dem zweiten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen eingebracht wird, um das Kryogen in seinen überkritischen Zustand zu verbringen, die gasförmige Phase des Kryogens aus dem ersten Konditionierbehälter in den Speicherbehälter abgeblasen wird, während des Abblasens Wärme von der gasförmigen Phase auf das in dem zweiten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen übertragen wird, das Kryogen aus dem zweiten Konditionierbehälter zu dem Verbraucher ausgeleitet wird und das in dem zweiten Konditionierbehälter aufgenommene Kryogen während des Ausleitens in dem überkritischen Zustand gehalten wird. Die Fördervorrichtung ist dadurch dazu eingerichtet, das Kryogen, wie zuvor erwähnt, von dem Speicherbehälter zu dem Verbraucher zu fördern, dass Ventile der Fördervorrichtung entsprechend geschaltet werden.

[0042] Gemäß einer Ausführungsform ist dem ersten Konditionierbehälter ein erster Rekuperator zum Übertragen von Wärme von der gasförmigen Phase auf das Kryogen zugeordnet, wobei dem zweiten Konditionierbehälter ein zweiter Rekuperator zum Übertragen von Wärme von der gasförmigen Phase auf das Kryogen zuge-

ordnet ist.

[0043] Insbesondere führt von dem ersten Konditionierbehälter eine Leitung zu dem Speicherbehälter, mit deren Hilfe die gasförmige Phase in den Speicherbehälter abgeblasen werden kann. Diese Leitung verläuft spiralförmig um einen Innenbehälter des zweiten Konditionierbehälters um und bildet so den zweiten Rekuperator. Dementsprechend ist dem zweiten Konditionierbehälter ebenfalls eine derartige Leitung zugeordnet, mit deren Hilfe die gasförmige Phase in den Speicherbehälter abgeblasen werden kann. Diese Leitung ist um einen Innenbehälter des ersten Konditionierbehälters spiralförmig herumgeführt und bildet den ersten Rekuperator. Die Rekuperatoren sind insbesondere jeweils wärmeleitend mit dem Innenbehälter des jeweiligen Konditionierbehälters verbunden. Es kann beispielsweise eine Schweißverbindung oder eine Lötverbindung vorgesehen sein.

[0044] Die für das Verfahren beschriebenen Ausführungsformen und Merkmale gelten für die vorgeschlagene Fördervorrichtung entsprechend und umgekehrt.

[0045] "Ein" ist vorliegend nicht zwangsweise als beschränkend auf genau ein Element zu verstehen. Vielmehr können auch mehrere Elemente, wie beispielsweise zwei, drei oder mehr, vorgesehen sein. Auch jedes andere hier verwendete Zählwort ist nicht dahingehend zu verstehen, dass eine genaue Beschränkung auf genau die entsprechende Anzahl von Elementen verwirklicht sein muss. Vielmehr sind zahlenmäßige Abweichungen nach oben und nach unten möglich.

[0046] Weitere mögliche Implementierungen des Verfahrens und/oder der Fördervorrichtung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmalen oder Ausführungsformen. Dabei wird der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform des Verfahrens und/oder der Fördervorrichtung hinzufügen.

[0047] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens und/oder der Fördervorrichtung sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiele des Verfahrens und/oder der Fördervorrichtung. Im Weiteren werden das Verfahren und/oder die Fördervorrichtung anhand von bevorzugten Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigelegten Figuren näher erläutert.

[0048] Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform einer Fördervorrichtung zum Fördern von Wasserstoff;

[0049] Fig. 2 zeigt ein Druck-Enthalpie-Diagramm von Wasserstoff; und

[0050] Fig. 3 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Ausführungsform eines Verfahrens zum Fördern von Wasserstoff.

[0051] In den Figuren sind gleiche oder funktionsgleiche Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen worden, sofern nichts anderes angegeben ist.

[0052] Die Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform einer Fördervorrichtung 1 zum Fördern von Wasserstoff H₂.

[0053] Mit Hilfe der Fördervorrichtung 1 kann der Wasserstoff H₂ von einem Speicherbehälter 2 zu einem Verbraucher 3 gefördert werden. Der Speicherbehälter 2 ist insbesondere zur Aufnahme von flüssigem Wasserstoff LH₂ geeignet. Der Speicherbehälter 2 ist rotationssymmetrisch zu einer Mittel- oder Symmetrieachse 4 aufgebaut. Der Speicherbehälter 2 ist Teil der Fördervorrichtung 1. Alternativ kann der Speicherbehälter 2 auch nicht Teil der Fördervorrichtung 1 sein. Die Fördervorrichtung 1 ist dazu eingerichtet, den Verbraucher 3 unabhängig vom Seegang oder sonstigen Bewegungen des Speicherbehälters 2 kontinuierlich mit gasförmigem Wasserstoff GH₂ mit einem Versorgungsdruck von etwa 6 bara und einer Versorgungstemperatur von 10 bis 25 °C zu versorgen. Die Fördervorrichtung 1 kann als Wasserstoff-Fördervorrichtung bezeichnet werden.

[0054] Der Speicherbehälter 2 kann auch als Speichertank bezeichnet werden. Wie zuvor erwähnt, ist der Speicherbehälter 2 zur Aufnahme von flüssigem Wasserstoff LH₂ (Siedepunkt 1 bara: 20,268 K = -252,882 °C) geeignet. Daher kann der Speicherbehälter 2 auch als Wasserstoff-Speicherbehälter oder als Wasserstoff-Speichertank bezeichnet sein. Der Speicherbehälter 2 kann jedoch auch für andere kryogene Flüssigkeiten eingesetzt werden. Beispiele für kryogene Fluide oder Flüssigkeiten, oder kurz Kryogene, sind neben dem zuvor erwähnten flüssigen Wasserstoff LH₂ flüssiges Helium He (Siedepunkt 1 bara: 4,222 K = -268,928 °C), flüssiger Stickstoff N₂ (Siedepunkt 1 bara: 77,35 K = -195,80 °C) oder flüssiger Sauerstoff O₂ (Siedepunkt 1 bara: 90,18 K = -182,97 °C).

[0055] Der Speicherbehälter 2 umfasst einen Innenbehälter, in dem der Wasserstoff H₂ aufgenommen ist, und einen Außenbehälter, in dem der Innenbehälter angeordnet ist. Der Speicherbehälter 2 ist somit doppelwandig. Zwischen dem Innenbehälter und dem Außenbehälter ist ein Spalt vorgesehen. Der Spalt ist mit einem Vakuum beaufschlagt. In dem Spalt ist ein Isolationselement oder Dämmelement zur Wärmedämmung des Innenbehälters angeordnet. Das Dämmelement kann mehrlagig sein. Das heißt, das Dämmelement umfasst eine Vielzahl an Lagen oder Schichten. Insbesondere ist das Dämmelement eine sogenannte Multilayer Insulation (MLI).

[0056] In dem Speicherbehälter 2 ist der flüssige Wasserstoff LH₂ aufgenommen. In dem Speicherbehälter 2 können, solange sich der Wasserstoff H₂ im Zweiphasengebiet befindet, eine Gaszone 5 mit gasförmigem Wasserstoff GH₂ und eine Flüssigkeitszone 6 mit flüssigem Wasserstoff LH₂ vorgesehen sein. Der Wasserstoff H₂ weist also nach dem Einfüllen in den Speicherbehälter 2 zwei Phasen mit unterschiedlichen Aggregatzuständen, nämlich flüssig und gasförmig, auf. Das heißt, in dem Speicherbehälter 2 befindet sich eine Phasengrenze 7 zwischen dem flüssigen Wasserstoff LH₂ und dem

gasförmigen Wasserstoff GH₂.

[0057] Der Verbraucher 3 ist bevorzugt eine Brennstoffzelle. Unter einer "Brennstoffzelle" ist vorliegend eine galvanische Zelle zu verstehen, welche die chemische Reaktionsenergie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffes, vorliegend Wasserstoff, und eines Oxidationsmittels, vorliegend Sauerstoff, in elektrische Energie wandelt.

[0058] Die Mittelachse 4 des Speicherbehälters 2 kann senkrecht zu einer Schwerkrafttrichtung g orientiert sein. Das heißt, der Speicherbehälter 2 ist liegend oder horizontal positioniert. Der Speicherbehälter 2 kann jedoch auch stehend oder vertikal positioniert sein. In diesem Fall ist die Mittelachse 4 parallel zu der Schwerkrafttrichtung g orientiert.

[0059] Insbesondere bei maritimen Anwendungen muss mit durch den Seegang verursachter Bewegung des in dem Speicherbehälter 2 aufgenommenen flüssigen Wasserstoffs LH₂ gerechnet werden. Ist der Speicherbehälter 2, wie in der Fig. 1 gezeigt, liegend angeordnet, wird durch die Massenträgheit des flüssigen Wasserstoffs LH₂ und die durch den liegenden Einbau vorhandene Krümmung des Speicherbehälters 2 sowohl an dessen zylinderförmiger Außenwandung als auch an dessen Enden ein großflächiges Schwappen des flüssigen Wasserstoffs LH₂ begünstigt.

[0060] Dieses Schwappen, auch als Sloshing bezeichnet, führt zur Abkühlung des gasförmigen Wasserstoffs GH₂ über dem flüssigen Wasserstoff LH₂ und dadurch zu einem abrupten Druckabfall eines sich über dem flüssigen Wasserstoff LH₂ gebildeten Gaspolsters des gasförmigen Wasserstoffs GH₂. Dies kann in Abhängigkeit von dem aktuellen Seegang nachteilige Auswirkungen auf den für Betriebskomponenten des Verbrauchers 3 zur Verfügung stehenden Versorgungsdruck haben, was zu einem instabilen Betrieb des Verbrauchers 3 führen kann.

[0061] Um den Versorgungsdruck für den Verbraucher 3 zur Verfügung stellen zu können, ist es gemäß betriebsinternen Erkenntnissen möglich, eine flüssiggekühlte und flüssiggelagerte Pumpe zum Pumpen des flüssigen Wasserstoffs LH₂ einzusetzen. Eine derartige Pumpe weist jedoch bewegliche Teile auf. Weiterhin kann es bei einem intermittierenden Betrieb der Pumpe aufgrund einer Erwärmung derselben zur Blasenbildung in dem flüssigen Wasserstoff LH₂ kommen. Dies kann zu einer Betriebsstörung der Pumpe führen. Alternativ kann der flüssige Wasserstoff LH₂ auch zunächst verdampft und dann mit Hilfe eines Verdichters auf den nötigen Versorgungsdruck gebracht werden. Dies ist jedoch energetisch ungünstig.

[0062] Ferner kann der Speicherbehälter 2 auch direkt bei dem Versorgungsdruck betrieben werden. In diesem Fall stellt sich in dem Speicherbehälter 2 ein Gleichgewicht zwischen der Flüssigkeitszone 6 und der darüber geschichteten Gaszone 5 ein. Aufgrund der niedrigen Oberflächenspannung von flüssigem Wasserstoff LH₂ führt eine Bewegung des Speicherbehälters 2 jedoch

dazu, dass sich der flüssige Wasserstoff LH2 und der gasförmige Wasserstoff GH2 miteinander mischen und so der flüssige Wasserstoff LH2 den wärmeren gasförmigen Wasserstoff GH2 abkühlt. Das Halten des Versorgungsdrucks ist dann nicht möglich, bis sich wieder ein Gleichgewicht zwischen einer Temperatur des flüssigen Wasserstoffs LH2 und des gasförmigen Wasserstoffs GH2 einstellt. Dies gilt es zu verbessern.

[0063] Mit Hilfe der Fördervorrichtung 1 können die zuvor erwähnten Sloshing-Effekte vermieden oder zumindest reduziert werden. Neben dem Speicherbehälter 2 umfasst die Fördervorrichtung 1 einen ersten Konditionierbehälter 8 und einen zweiten Konditionierbehälter 9. Die Konditionierbehälter 8, 9 sind dazu geeignet, Wasserstoff H2 aufzunehmen. Dem ersten Konditionierbehälter 8 ist ein erstes Heizelement 10 zum Einbringen von Wärme Q in den in dem ersten Konditionierbehälter 8 aufgenommenen Wasserstoff H2 zugeordnet. Dem zweiten Konditionierbehälter 9 ist ein zweites Heizelement 11 zum Einbringen von Wärme Q in den in dem zweiten Konditionierbehälter 9 aufgenommenen Wasserstoff H2 zugeordnet. Die Heizelemente 10, 11 können elektrische Heizelemente sein. Mit Hilfe der Heizelemente 10, 11 kann ein Druckaufbau in dem jeweiligen Konditionierbehälter 8, 9 erzielt werden.

[0064] Die Fördervorrichtung 1 weist insbesondere zumindest zwei Konditionierbehälter 8, 9 auf. Das heißt, dass die Fördervorrichtung 1 auch mehr als zwei Konditionierbehälter 8, 9, beispielsweise drei, vier oder fünf Konditionierbehälter 8, 9, aufweisen kann. Der erste Konditionierbehälter 8 ist bezüglich der Schwerkraftrichtung g betrachtet unterhalb des Speicherbehälters 2 und bevorzugt unterhalb des zweiten Konditionierbehälter 9 angeordnet. Der zweite Konditionierbehälter 9 kann bezüglich der Schwerkraftrichtung g ebenfalls unterhalb des Speicherbehälters 2 platziert sein. Die Konditionierbehälter 8, 9 werden intermittierend oder abwechselnd betrieben.

[0065] Die Konditionierbehälter 8, 9 umfassen jeweils einen Innenbehälter, in dem der Wasserstoff H2 aufgenommen ist, und einen Außenbehälter, in dem der Innenbehälter angeordnet ist. Die Konditionierbehälter 8, 9 sind somit - wie der Speicherbehälter 2 - doppelwandig. Zwischen dem Innenbehälter und dem Außenbehälter ist ein Spalt vorgesehen. Der Spalt ist mit einem Vakuum beaufschlagt. In dem Spalt ist ein Isolationselement oder Dämmelement zur Wärmedämmung des Innenbehälters angeordnet. Das Dämmelement kann mehrlagig sein. Das heißt, das Dämmelement umfasst eine Vielzahl an Lagen oder Schichten. Insbesondere ist das Dämmelement eine sogenannte Multilayer Insulation (MLI).

[0066] Aus dem Speicherbehälter 2 mündet eine Entnahmeleitung 12 aus, die zu dem Verbraucher 3 führt. In die Entnahmeleitung 12 sind ein Ventil V1.1 und ein Ventil V4.1 geschaltet. Aus dem ersten Konditionierbehälter 8 mündet eine Leitung 13 aus, die zwischen den Ventilen V1.1, V4.1 in die Entnahmeleitung 12 einmündet.

[0067] Aus dem ersten Konditionierbehälter 8 mündet

eine Leitung 14 aus. Die Leitung 14 ist spiralförmig um den Innenbehälter des zweiten Konditionierbehälters 9 gewunden. Diese spiralförmige Geometrie der Leitung 14 bildet einen an dem zweiten Konditionierbehälter 9 vorgesehenen Rekuperator 15. In die Leitung 14 ist ein Ventil V3.2 geschaltet. Der Rekuperator 15 ist wärmeleitend mit dem Innenbehälter des zweiten Konditionierbehälters 9 verbunden. Es kann beispielsweise eine Schweißverbindung oder eine Lötverbindung vorgesehen sein.

[0068] Stromabwärts des Ventils V3.2 mündet die Leitung 14 in eine Leitung 16 ein, die in Fluidverbindung mit dem Speicherbehälter 2 steht. Die Leitung 16 führt zu dem zweiten Konditionierbehälter 9 und steht in Fluidverbindung mit diesem. In die Leitung 16 ist stromabwärts der Leitung 14 ein Ventil V3.1 geschaltet. Die Ventile V3.1, V3.2 sind somit parallel zueinander geschaltet. Die Ventile V3.1, V3.2 sind bevorzugt Joule-Thomson-Ventile. Das heißt, dass die Ventile V3.1, V3.2 dazu geeignet sind, durch ein Entspannen des gasförmigen Wasserstoffs GH2 diesen zu verflüssigen.

[0069] Die Leitung 16 ist spiralförmig um den Innenbehälter des ersten Konditionierbehälters 8 gewunden. Diese spiralförmige Geometrie der Leitung 16 bildet einen an dem ersten Konditionierbehälter 8 vorgesehenen Rekuperator 17. Der Rekuperator 17 ist wärmeleitend mit dem Innenbehälter des ersten Konditionierbehälters 8 verbunden. Es kann beispielsweise eine Schweißverbindung oder eine Lötverbindung vorgesehen sein. Nachfolgend wird der dem ersten Konditionierbehälter 8 zugeordnete Rekuperator 17 als erster Rekuperator und der dem zweiten Konditionierbehälter 9 zugeordnete Rekuperator 15 als zweiter Rekuperator bezeichnet.

[0070] Stromaufwärts des Ventils V3.2 mündet eine Leitung 18 mit einem Ventil V2.2 aus der Leitung 14 aus. Die Leitung 18 mündet in eine Leitung 19 ein, die aus der Leitung 16 ausmündet. Die Leitung 19 weist ein Ventil V2.1 auf. Die Ventile V2.1, V2.2 sind parallel zueinander geschaltet. Die Leitung 18 mündet stromabwärts des Ventils V2.1 in die Leitung 19 ein. Die Leitung 19 mündet in die Flüssigkeitszone 6 des Speicherbehälters 2 ein.

[0071] Aus dem zweiten Konditionierbehälter 9 mündet eine Leitung 20 aus. Die Leitung 20 mündet in eine Leitung 21 ein. Die Leitung 21 mündet stromaufwärts des Ventils V1.1 aus der Entnahmeleitung 12 aus und zwischen dem Ventil V4.1 und dem Verbraucher 3 wieder in die Entnahmeleitung 12 ein. Die Leitung 21 weist ein Ventil V1.2 sowie ein Ventil V4.2 auf. Die Leitung 20 mündet zwischen den beiden Ventilen V1.2, V4.2 in die Leitung 21 ein. Dem Verbraucher 3 ist ein Verdampfer 22 vorgeschaltet mit dessen Hilfe der flüssige Wasserstoff LH2 verdampft und dem Verbraucher 3 als gasförmiger Wasserstoff GH2 zugeführt werden kann.

[0072] Die Fig. 2 zeigt ein Druck-Enthalpie-Diagramms des Wasserstoffs H2.

[0073] Die Funktionalität der Fördervorrichtung 1 wird nachfolgend anhand des in der Fig. 2 gezeigten Druck-

Enthalpie-Diagramms erläutert. Ein Druck-Enthalpie-Diagramm ist ein Zustandsdiagramm mit der spezifischen Enthalpie h auf der Abszissenachse und dem Druck p auf der Ordinatenachse. Die Fig. 2 zeigt ein Log-p-h-Diagramm, welches den Druck p logarithmisch skaliert. In der Fig. 2 bezeichnet a das Zweiphasengebiet, in dem der gasförmige Wasserstoff GH₂ und der flüssige Wasserstoff LH₂ gleichzeitig vorliegen. Die reine Gasphase des Wasserstoffs H₂ ist mit b bezeichnet. Der überkritische Bereich ist mit c bezeichnet. Die reine Flüssigphase des Wasserstoffs H₂ ist mit d bezeichnet.

[0074] In der Fig. 2 ist die Zweiphasenlinie 23 mit dem kritischen Punkt P_c eingezeichnet. In der Thermodynamik ist der kritische Punkt P_c ein thermodynamischer Zustand eines Stoffes, vorliegend Wasserstoff H₂, der sich durch Angleichen der Dichten von flüssiger Phase und gasförmiger Phase kennzeichnet. Die Unterschiede zwischen beiden Aggregatzuständen hören an dem kritischen Punkt P_c auf zu existieren. Der Wasserstoff H₂ befindet sich dann in seinem überkritischen Zustand. An dem kritischen Punkt P_c weist der Wasserstoff H₂ einen kritischen Druck p_c von 12,3 bara und eine kritische Temperatur T_c von -239,9 °C auf.

[0075] Es befindet sich sowohl gasförmiger Wasserstoff GH₂ als auch flüssiger Wasserstoff LH₂ in dem Speicherbehälter 2. In dem ersten Konditionierbehälter 8 befindet sich gasförmiger Wasserstoff GH₂. Der gasförmige Wasserstoff GH₂ wird über die Leitungen 14, 16 in den Speicherbehälter 2 entspannt. Hierzu ist das Ventil V3.2, welches ein Joule-Thomson-Ventil sein kann, geöffnet. An dem Ventil V3.2 kann der gasförmige Wasserstoff GH₂ verflüssigt werden. Über die Leitung 16 wird der gasförmige Wasserstoff GH₂ oder der flüssige Wasserstoff LH₂ der Gaszone 5 zugeführt. Die Ventile V1.1, V2.1, V2.2, V3.1, V4.1 sind geschlossen.

[0076] Alternativ kann das Ventil V3.2 auch geschlossen und das Ventil V2.2 geöffnet sein. In diesem Fall wird der gasförmige Wasserstoff GH₂ über die Leitungen 14, 18, 19 in die Flüssigkeitszone 6 eingeleitet. Der flüssige Wasserstoff LH₂ in dem Speicherbehälter 2 kühlt dann den zugeführten gasförmigen Wasserstoff GH₂ ab, so dass dieser zumindest teilweise kondensiert.

[0077] Anschließend wird der erste Konditionierbehälter 8 über die Entnahmeleitung 12 und die Leitung 13 mit flüssigem Wasserstoff LH₂ befüllt. Hierzu sind zumindest die Ventile V1.2, V2.2, V3.2, V4.1, V4.2 geschlossen und das Ventil V1.1 ist geöffnet. Da der Speicherbehälter 2 bezüglich der Schwerkraftichtung g oberhalb des ersten Konditionierbehälters 8 platziert ist, strömt der flüssige Wasserstoff LH₂ selbstständig aufgrund des statischen Drucks in den ersten Konditionierbehälter 8. Beispielsweise weist der flüssige Wasserstoff LH₂ in dem Speicherbehälter 2 beziehungsweise in dem ersten Konditionierbehälter 8 an einem Punkt A einen Ausgangsdruck p_1 von 1 bara, eine Temperatur T von -253 °C und eine Dichte ρ von 71 kg/m³ auf. Der Punkt A ist dabei ein Schnittpunkt der Zweiphasenlinie 23 mit einer 1-bar-Linie

24.

[0078] Der erste Konditionierbehälter 8 wird dann mit Hilfe eines Schließens des Ventils V1.1 von dem Speicherbehälter 2 isoliert. Die Ventile V1.2, V2.2, V3.2, V4.1, V4.2 sind nach wie vor geschlossen. Mit Hilfe des ersten Heizelements 10 und zusätzlich mit Hilfe des ersten Rekuperators 17 wird - wie nachfolgend noch mit Bezug auf den zweiten Rekuperator 15 erläutert wird - Wärme Q in den flüssigen Wasserstoff LH₂ eingebracht, der in dem ersten Konditionierbehälter 8 aufgenommen ist, um den Druck p in dem ersten Konditionierbehälter 8 zu erhöhen. Dies ist in der Fig. 2 durch einen Übergang von dem Punkt A zu einem Punkt B dargestellt. An dem Punkt B beträgt ein Betriebsdruck p_2 14 bara, die Temperatur T

-251 °C und die Dichte ρ 71 kg/m³. Das heißt, dass der Betriebsdruck p_2 höher als der kritische Druck p_c ist. Der Übergang von dem Punkt A zu dem Punkt B kann als Konditionierung oder als Konditioniervorgang bezeichnet werden.

[0079] Die Temperatur T ist bei dem Übergang von dem Punkt A zu dem Punkt B um 2 °C angestiegen. Der Wasserstoff H₂ in dem ersten Konditionierbehälter 8 befindet sich nun in dem überkritischen Zustand. Da in dem überkritischen Zustand des Wasserstoffs H₂ keine Phasengrenze 7 existiert, haben Bewegungen des ersten Konditionierbehälters 8, beispielsweise bei Seegang, keine unerwünschten Auswirkungen. Das Ventil V4.1 wird an dem Punkt B geöffnet und der Wasserstoff H₂ wird dem Verbraucher 3 zugeführt. Mit Hilfe des Verdampfers 22 wird der Wasserstoff H₂ verdampft und auf einen Versorgungsdruck p_3 für den Verbraucher 3 von etwa 6 bara bei einer Temperatur T von 10 bis 25 °C gebracht.

[0080] Das initiale Befüllen des ersten Konditionierbehälters 8 ist lediglich eine Funktion der Temperatur T . Eine Füllstandsmessung ist verzichtbar. Wie zuvor erwähnt, wird der Wasserstoff H₂ über ein Öffnen des Ventils V4.1 an den Verbraucher 3 abgegeben. Der Druck p in dem ersten Konditionierbehälter 8 wird gleichzeitig durch weiteres Zuführen von Wärme Q bevorzugt mit Hilfe des ersten Heizelements 10 und gegebenenfalls zusätzlich mit Hilfe des ersten Rekuperators 17 auf einem Druck p von 14 bara gehalten. Der Füllgrad ist eine reine Funktion der Temperatur T .

[0081] Bei dem Entleeren und gleichzeitigen Aufheizen des ersten Konditionierbehälters 8 nimmt die Dichte

ρ des Wasserstoffs H₂ in dem ersten Konditionierbehälter 8 ab. Der Wasserstoff H₂ bleibt nach wie vor in dem überkritischen Zustand. Dies ist in der Fig. 2 durch einen Übergang von dem Punkt B zu einem Punkt C dargestellt. An dem Punkt C beträgt der Betriebsdruck p_2 nach wie

vor 14 bara, die Temperatur T -230 °C und die Dichte ρ 9,8 kg/m³. Während des Übergangs von dem Punkt B zu dem Punkt C bleibt das Ventil V4.1 geöffnet. Von dem Punkt B zu dem Punkt C wird das Zweiphasengebiet a nicht durchschritten.

[0082] Die Temperatur T wird dabei derart gewählt, dass ein signifikanter Abfall der Dichte ρ zwischen den Punkten B und C erfolgt. Dies erlaubt eine maximale Nutzung des Wasserstoffs H₂. Die erreichte Temperatur T an dem Punkt C ist ein Kompromiss zwischen der maximalen Nutzung des Wasserstoffs H₂ und einem Wärmeeintrag in den Speicherbehälter 2. Wenn eine gewisse Temperatur T erreicht ist, wird der Transfer des Wasserstoffs H₂ zu dem Verbraucher 3 gestoppt. Die Temperatur T wird gehalten und ein gewisser Druckabfall wird zugelassen, um den ersten Konditionierbehälter 8 weiter zu entleeren.

[0083] Alternativ kann das Einbringen von Wärme Q gestoppt werden, um die Temperatur T in dem ersten Konditionierbehälter 8 durch eine Expansion des überkritischen Wasserstoffs H₂ zu reduzieren. Dies ermöglicht eine maximale Nutzung des Wasserstoffs H₂. Dies ist in der Fig. 2 durch einen Übergang von dem Punkt C zu einem Punkt D dargestellt. An dem Punkt D weist der Wasserstoff H₂ den Versorgungsdruck p₃ von 6 bara,

eine Temperatur T von -242 °C und eine Dichte ρ von 6,2 kg/m³ auf. An dem Punkt D wird das Ventil V4.1 geschlossen und der Wasserstoff H₂, wie einleitend erläutert, in den Speicherbehälter 2 entspannt. Es kann eine Nutzung des Wasserstoffs H₂ von 92% erreicht werden. Entspannen erfolgt von dem Punkt D zu dem Punkt A.

[0084] Wie zuvor schon erwähnt, werden die Konditionierbehälter 8, 9 intermittierend betrieben. Während der Wasserstoff H₂ in dem ersten Konditionierbehälter 8 konditioniert wird, befindet sich der zweite Konditionierbehälter 9 an dem Punkt D. Das heißt, der sich in dem zweiten Konditionierbehälter 9 befindende Wasserstoff H₂ wird über die Leitung 16 in den Speicherbehälter 2 entspannt. Hierzu kann das Ventil V2.1 oder das Ventil V3.1 geöffnet werden. Der Wasserstoff H₂ durchströmt den ersten Rekuperator 17 und gibt Wärme Q an den Wasserstoff H₂ ab, der sich in dem ersten Konditionierbehälter 8 befindet. Das heißt, dass der Wasserstoff H₂ in dem ersten Konditionierbehälter 8 mit Hilfe der Wärme Q des ersten Rekuperators 17 von dem Punkt A zu dem Punkt B konditioniert wird.

[0085] Auch von dem Punkt B zu dem Punkt C kann der erste Rekuperator 17 Wärme Q an den in dem ersten Konditionierbehälter 8 aufgenommenen Wasserstoff H₂ abgeben. Wenn der zweite Konditionierbehälter 9 entspannt ist, kann dieser - wie zuvor mit Bezug auf den ersten Konditionierbehälter 8 erläutert - aus dem Speicherbehälter 2 befüllt werden. Hierzu werden die Ventile V1.1, V2.1, V3.1, V4.2 geschlossen und das Ventil V1.2 geöffnet. Der zweite Konditionierbehälter 9 wird konditioniert. Anschließend kann der Verbraucher 3 aus dem zweiten Konditionierbehälter 9 versorgt werden. Hierzu wird das Ventil V4.2 geöffnet.

[0086] Wie zuvor erläutert, kann die Fördervorrichtung 1 beliebig viele Konditionierbehälter 8, 9 aufweisen. Die Konditionierbehälter 8, 9 werden dann so betrieben, dass immer aus einem Konditionierbehälter 8, 9 Wasserstoff

H₂ für den Verbraucher 3 entnommen werden kann. Es ist dann eine kontinuierliche Versorgung des Verbrauchers 3 möglich.

[0087] Die Vorteile der Fördervorrichtung 1 werden nachfolgend zusammengefasst. Der Wasserstoff H₂ in dem Speicherbehälter 2 kann an seinem Gleichgewicht gehalten werden, wodurch sich eine lange Haltezeit des Wasserstoffs H₂ ergibt. Es ist ausreichend, lediglich aus mechanischen Gründen übliche Schotten oder Wände zum Verhindern des Slosings einzusetzen. Hierdurch kann der Speicherbehälter 2 leichter konstruiert werden. Es ergibt sich eine höhere Aufnahmekapazität für den Wasserstoff H₂.

[0088] Der Speicherbehälter 2 kann in einem geeigneten Druckbereich von 1 bis 6 bara betrieben werden. Die

Dichte ρ von gesättigtem flüssigen Wasserstoff H₂ ist druckabhängig. Wünschenswert ist ein Betrieb des Speicherbehälters 2 bei einem möglichst geringen Druck p.

Beispielsweise beträgt die Dichte ρ 71 kg/m³ bei einem Druck p von 1 bara, 60 kg/m³ bei einem Druck p von 6 bara und 28 kg/m³ bei einem Druck p von 12 bara. Die Fördervorrichtung 1 weist mit Ausnahme der Ventile V1.1, V1.2, V2.1, V2.2, V3.1, V3.2, V4.1, V4.2 keine beweglichen Teile auf. Die Fördervorrichtung 1 ist daher sehr störunanfällig.

[0089] Der Wasserstoff H₂ in den Konditionierbehältern 8, 9 kann im Gleichgewicht gehalten werden. Wände oder Schotten zum Verhindern des Slosings sind nur erforderlich, wenn die Konditionierbehälter 8, 9 bei einem Druck p von weniger als 0,8*pc, bevorzugt von weniger als 0,9*pc, betrieben werden. Der Wasserstoff H₂ ist den Konditionierbehältern 8, 9 als einphasiges Medium, nämlich in dem überkritischen Zustand, entnehmbar. Die Fördervorrichtung 1 kann auch unter rauen Bedingungen, beispielsweise bei starkem Seegang, eingesetzt werden, da kein Phasenübergang zwischen der Gasphase und der Flüssigphase stattfinden kann, was zu einem gestörten Betrieb des Verbrauchers 3 führen könnte.

[0090] Es ist ein stabiler und störungsfreier Betrieb des Verbrauchers 3 möglich, da der Wasserstoff H₂ den Konditionierbehältern 8, 9 als einphasiges Medium entnehmbar ist. Eine Füllstandskontrolle der Konditionierbehälter 8, 9 ist verzichtbar, da beispielsweise an dem Punkt C eine Stoptemperatur gesetzt werden kann, bei der die Versorgung des Verbrauchers 3 gestoppt wird. Es ist ein einfaches Druck-Temperatur-Kontrollschema mit Hilfe der Heizelemente 10, 11 möglich. Dadurch, dass es möglich ist, den gasförmigen Wasserstoff GH₂ über die Leitung 19 direkt in den flüssigen Wasserstoff LH₂ einzuleiten, kann in dem Speicherbehälter 2 schnell ein Gleichgewicht erreicht werden.

[0091] Dadurch, dass dem gasförmigen Wasserstoff GH₂ mit Hilfe der Rekuperatoren 15, 17 Wärme Q entzogen und zum Konditionieren eingesetzt wird, wird der Eintrag von Wärme Q in den Speicherbehälter 2 reduziert. Die Haltezeit des Speicherbehälters 2 wird dadurch

erhöht. Durch den Einsatz der Rekuperatoren 15, 17 können die Heizelemente 10, 11 kleiner dimensioniert werden. In den Rekuperatoren 15, 17 kann der gasförmige Wasserstoff GH2 zumindest teilweise kondensieren. Mit Hilfe der als Joule-Thomson-Ventile ausgebildeten Ventile V3.1, V3.2 kann der gasförmige Wasserstoff GH2 weiter heruntergekühlt beziehungsweise kondensiert werden. Hierdurch wird der Eintrag von Wärme Q in den Speicherbehälter 2 weiter reduziert.

[0092] Die Fig. 3 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Ausführungsform eines Verfahrens zum Fördern von Wasserstoff H2.

[0093] Das Verfahren wird mit Hilfe der Fördervorrichtung 1 durchgeführt. Mit Hilfe des Verfahrens wird der Wasserstoff H2 von dem Speicherbehälter 2 zu dem Verbraucher gefördert. In einem Schritt S1 wird der Wasserstoff H2, insbesondere der flüssige Wasserstoff LH2, aus dem Speicherbehälter 2 in den ersten Konditionierbehälter 8 eingeleitet. Alternativ kann in dem Schritt S1 der Wasserstoff H2, insbesondere der flüssige Wasserstoff LH2, aus dem Speicherbehälter 2 in den zweiten Konditionierbehälter 9 eingeleitet werden.

[0094] In einem Schritt S2 wird Wärme Q in den in dem ersten Konditionierbehälter 8 aufgenommenen Wasserstoff H2 eingebracht, wodurch der Wasserstoff H2 in seinen überkritischen Zustand verbracht wird. Für den Fall, dass in dem Schritt S1 der Wasserstoff H2 in den zweiten Konditionierbehälter 9 eingeleitet wurde, wird in dem Schritt S2 Wärme Q in den in dem zweiten Konditionierbehälter 9 aufgenommenen Wasserstoff H2 eingebracht, wodurch der Wasserstoff H2 in seinen überkritischen Zustand verbracht wird.

[0095] Ein Schritt S3 umfasst ein Abblasen des gasförmigen Wasserstoffs GH2 aus dem zweiten Konditionierbehälter 9 in den Speicherbehälter 2, wobei die Schritte S2 und S3 gleichzeitig durchgeführt werden, und wobei während des Schritts S3 Wärme Q von dem gasförmigen Wasserstoff GH2 auf den in dem ersten Konditionierbehälter 8 aufgenommenen Wasserstoff H2 übertragen wird. Alternativ kann der Schritt S3 auch ein Abblasen des gasförmigen Wasserstoffs GH2 aus dem ersten Konditionierbehälter 8 in den Speicherbehälter 2 umfassen, wobei während des Schritts S3 Wärme Q von dem gasförmigen Wasserstoff GH2 auf den in dem zweiten Konditionierbehälter 9 aufgenommenen Wasserstoff H2 übertragen wird.

[0096] Bei einem Schritt S4 wird der Wasserstoff H2 aus dem ersten Konditionierbehälter 8 zu dem Verbraucher 3 ausgeleitet, wobei der in dem ersten Konditionierbehälter 8 aufgenommene Wasserstoff H2 während des Schritts S4 in dem überkritischen Zustand gehalten wird. Alternativ kann bei dem Schritt S4 der Wasserstoff H2 aus dem zweiten Konditionierbehälter 9 zu dem Verbraucher 3 ausgeleitet werden, wobei der in dem zweiten Konditionierbehälter 9 aufgenommene Wasserstoff H2 während des Schritts S4 auch in diesem Fall in dem überkritischen Zustand gehalten wird. Der erste Konditionierbehälter 8 und der zweite Konditionierbehälter 9

können somit intermittierend betrieben werden.

[0097] Während des Schritts S3 kann der gasförmige Wasserstoff GH2 mit Hilfe der Ventil 3.1, 3.2, die als Joule-Thomson-Ventile ausgebildet sein können, entspannt werden. Hierdurch wird dem gasförmigen Wasserstoff GH2 weiter Wärme Q entzogen. Hierdurch wird weniger Wärme Q in den Speicherbehälter 2 eingetragen. Der gasförmige Wasserstoff GH2 kann sich bei dem Entspannen verflüssigen.

[0098] Auch während des Schritts S4 wird Wärme Q in den Wasserstoff H2 eingebracht, um den Wasserstoff H2 während des Schritts S4 in dem überkritischen Zustand zu halten. Das Einbringen von Wärme Q kann mit Hilfe der Rekuperatoren 15, 17 und/oder mit Hilfe der Heizelemente 10, 11 erfolgen.

[0099] Nach dem Schritt S1 wird der erste Konditionierbehälter 8 mit Hilfe des Ventils V1.1 von dem Speicherbehälter 2 separiert, indem das Ventil V1.1 geschlossen wird. Alternativ kann nach dem Schritt S1 der zweite Konditionierbehälter 9 mit Hilfe des Ventils V1.2 von dem Speicherbehälter 2 separiert werden, indem das Ventil V1.2 geschlossen wird. Auch die Ventile V4.1, V4.2 werden zum Separieren der Konditionierbehälter 8, 9 von dem Speicherbehälter 2 geschlossen.

[0100] Bei dem Schritt S4 wird das zwischen dem ersten Konditionierbehälter 8 und dem Verbraucher 3 vorgesehene Ventil V4.1 geöffnet. Alternativ kann bei dem Schritt S4 das zwischen dem zweiten Konditionierbehälter 9 und dem Verbraucher 3 vorgesehene Ventil V4.2 geöffnet werden. Während des Schritts S4 nimmt

die Dichte ρ des Wasserstoffs H2 ab. Ferner wird während des Schritts S4 der Betriebsdruck p_2 innerhalb des ersten Konditionierbehälters 8 konstant gehalten. Alternativ wird während des Schritts S4 der Betriebsdruck p_2 innerhalb des zweiten Konditionierbehälters 9 konstant gehalten.

[0101] Der Schritt S4 wird bevorzugt nach Erreichen einer vorbestimmten Temperatur beendet. Insbesondere wird der erste Konditionierbehälter 8 bis zum Erreichen des Versorgungsdrucks p_3 des Verbrauchers 3 entspannt. Alternativ wird der zweite Konditionierbehälter 9 bis zum Erreichen des Versorgungsdrucks p_3 des Verbrauchers 3 entspannt. Der erste Konditionierbehälter 8 oder der zweite Konditionierbehälter 9 wird ab dem Erreichen des Versorgungsdrucks p_3 in den Speicherbehälter 2 entspannt.

[0102] Obwohl die vorliegende Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben wurde, ist sie vielfältig modifizierbar.

Verwendete Bezugszeichen

[0103]

- | | |
|---|-------------------|
| 1 | Fördervorrichtung |
| 2 | Speicherbehälter |
| 3 | Verbraucher |

4	Mittelachse	
5	Gaszone	
6	Flüssigkeitszone	
7	Phasengrenze	
8	Konditionierbehälter	5
9	Konditionierbehälter	
10	Heizelement	
11	Heizelement	
12	Entnahmeleitung	
13	Leitung	10
14	Leitung	
15	Rekuperator	
16	Leitung	
17	Rekuperator	
18	Leitung	15
19	Leitung	
20	Leitung	
21	Leitung	
22	Verdampfer	
23	Zweiphasenlinie	20
24	1-bar-Linie	
a	Zweiphasengebiet	
A	Punkt	
b	Gasphase	25
B	Punkt	
c	überkritischer Bereich	
C	Punkt	
d	Flüssigphase	
D	Punkt	30
g	Schwerkraftrichtung	
GH2	gasförmiger Wasserstoff/gasförmige Phase	
h	Enthalpie	
H2	Wasserstoff/Kryogen	
LH2	flüssiger Wasserstoff/flüssige Phase	35
p	Druck	
pc	kritischer Druck	
Pc	kritischer Punkt	
p1	Ausgangsdruck	
p2	Betriebsdruck	40
p3	Versorgungsdruck	
S1	Schritt	
S2	Schritt	
S3	Schritt	
S4	Schritt	45
V1.1	Ventil	
V1.2	Ventil	
V2.1	Ventil	
V2.2	Ventil	
V3.1	Ventil	50
V3.2	Ventil	
V4.1	Ventil	
V4.2	Ventil	

Patentansprüche

1. Verfahren zum Fördern eines Kryogens (H2) von einem Speicherbehälter (2) zu einem Verbraucher

(3), mit folgenden Schritten:

- a) Einleiten (S1) des Kryogens (H2) aus dem Speicherbehälter (2) in einen ersten Konditionierbehälter (8),
- b) Einbringen (S2) von Wärme (Q) in das in dem ersten Konditionierbehälter (8) aufgenommene Kryogen (H2), wodurch das Kryogen (H2) in seinen überkritischen Zustand verbracht wird,
- c) Abblasen (S3) einer gasförmigen Phase (GH2) des Kryogens (H2) aus einem zweiten Konditionierbehälter (9) in den Speicherbehälter (2), wobei die Schritte b) und c) gleichzeitig durchgeführt werden, und wobei während des Schritts c) Wärme (Q) von der gasförmigen Phase (GH2) auf das in dem ersten Konditionierbehälter (8) aufgenommene Kryogen (H2) übertragen wird, und
- d) Ausleiten (S4) des Kryogens (H2) aus dem ersten Konditionierbehälter (8) zu dem Verbraucher (3), wobei das in dem ersten Konditionierbehälter (8) aufgenommene Kryogen (H2) während des Schritts d) in dem überkritischen Zustand gehalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei während des Schritts c) die gasförmige Phase (GH2) mit Hilfe eines Ventils (V3.1), insbesondere mit Hilfe eines Joule-Thomson-Ventils, entspannt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei während des Schritts d) Wärme (Q) in das Kryogen (H2) eingebracht wird, um das Kryogen (H2) in dem überkritischen Zustand zu halten.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei während des Schritts d) Wärme (Q) von der gasförmigen Phase (GH2) auf das in dem ersten Konditionierbehälter (8) aufgenommene Kryogen (H2) übertragen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 4, wobei nach dem Schritt d) das Kryogen (H2) aus dem Speicherbehälter (2) in den zweiten Konditionierbehälter (9) eingeleitet wird, wobei Wärme (Q) in das in dem zweiten Konditionierbehälter (9) aufgenommene Kryogen (H2) eingebracht wird, wodurch das Kryogen (H2) in seinen überkritischen Zustand verbracht wird, wobei die gasförmige Phase (GH2) aus dem ersten Konditionierbehälter (8) in den Speicherbehälter (2) abgeblasen wird, wobei das Einbringen von Wärme (Q) und das Abblasen gleichzeitig durchgeführt werden, wobei während des Abblasens Wärme (Q) von der gasförmigen Phase (GH2) auf das in dem zweiten Konditionierbehälter (9) aufgenommene Kryogen (H2) übertragen wird, wobei das Kryogen (H2) aus dem zweiten Konditionierbehälter (9) zu dem Verbraucher (3) ausgeleitet wird, und wobei das in dem zweiten Konditionierbehälter (9) aufge-

- nommene Kryogen (H2) während des Ausleitens in dem überkritischen Zustand gehalten wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 5, wobei der erste Konditionierbehälter (8) und der zweite Konditionierbehälter (9) intermittierend betrieben werden. 5
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 6, wobei nach dem Schritt a) der erste Konditionierbehälter (8) mit Hilfe eines Ventils (V1.1) von dem Speicherbehälter (2) separiert wird, indem das Ventil (V1.1) geschlossen wird. 10
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 7, wobei bei dem Schritt d) ein zwischen dem ersten Konditionierbehälter (8) und dem Verbraucher (3) vorgesehene Ventil (V4.1) geöffnet wird. 15
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 8, wobei während des Schritts d) die Dichte des Kryogens (H2) abnimmt. 20
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 9, wobei während des Schritts c) ein Betriebsdruck (p2) innerhalb des ersten Konditionierbehälters (8) konstant gehalten wird. 25
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 10, wobei der Schritt d) nach Erreichen einer vorbestimmten Temperatur beendet wird. 30
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei der erste Konditionierbehälter (8) bis zum Erreichen eines Versorgungsdrucks (p3) des Verbrauchers (3) entspannt wird. 35
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei der erste Konditionierbehälter (8) ab dem Erreichen des Versorgungsdrucks (p3) in den Speicherbehälter (2) entspannt wird. 40
14. Fördervorrichtung (1) zum Fördern eines Kryogens (H2) von einem Speicherbehälter (2) zu einem Verbraucher (3), mit einem ersten Konditionierbehälter (8), der zwischen dem Speicherbehälter (2) und dem Verbraucher (3) angeordnet ist, und einem zweiten Konditionierbehälter (9), der zwischen dem Speicherbehälter (2) und dem Verbraucher (3) angeordnet ist, wobei die Fördervorrichtung (1) dazu eingerichtet ist, das Kryogen (H2) aus dem Speicherbehälter (2) in den ersten Konditionierbehälter (8) einzuleiten, Wärme (Q) in das in dem ersten Konditionierbehälter (8) aufgenommene Kryogen (H2) einzubringen, um das Kryogen (H2) in seinen überkritischen Zustand zu verbringen, eine gasförmige Phase (GH2) des Kryogens (H2) aus dem zweiten Konditionierbehälter (9) in den Speicherbehälter (2) abzublasen, während des Abblasens Wärme (Q) von der gasförmigen Phase (GH2) auf das in dem ersten Konditionierbehälter (8) aufgenommene Kryogen (H2) zu übertragen, das Kryogen (H2) aus dem ersten Konditionierbehälter (8) zu dem Verbraucher (3) auszuleiten, und das in dem ersten Konditionierbehälter (8) aufgenommene Kryogen (H2) während des Ausleitens in dem überkritischen Zustand zu halten. 45
15. Fördervorrichtung nach Anspruch 14, wobei dem ersten Konditionierbehälter (8) ein erster Rekuperator (17) zum Übertragen von Wärme (Q) von der gasförmigen Phase (GH2) auf das Kryogen (H2) zugeordnet ist, und wobei dem zweiten Konditionierbehälter (9) ein zweiter Rekuperator (15) zum Übertragen von Wärme (Q) von der gasförmigen Phase (GH2) auf das Kryogen (H2) zugeordnet ist. 50
- 55

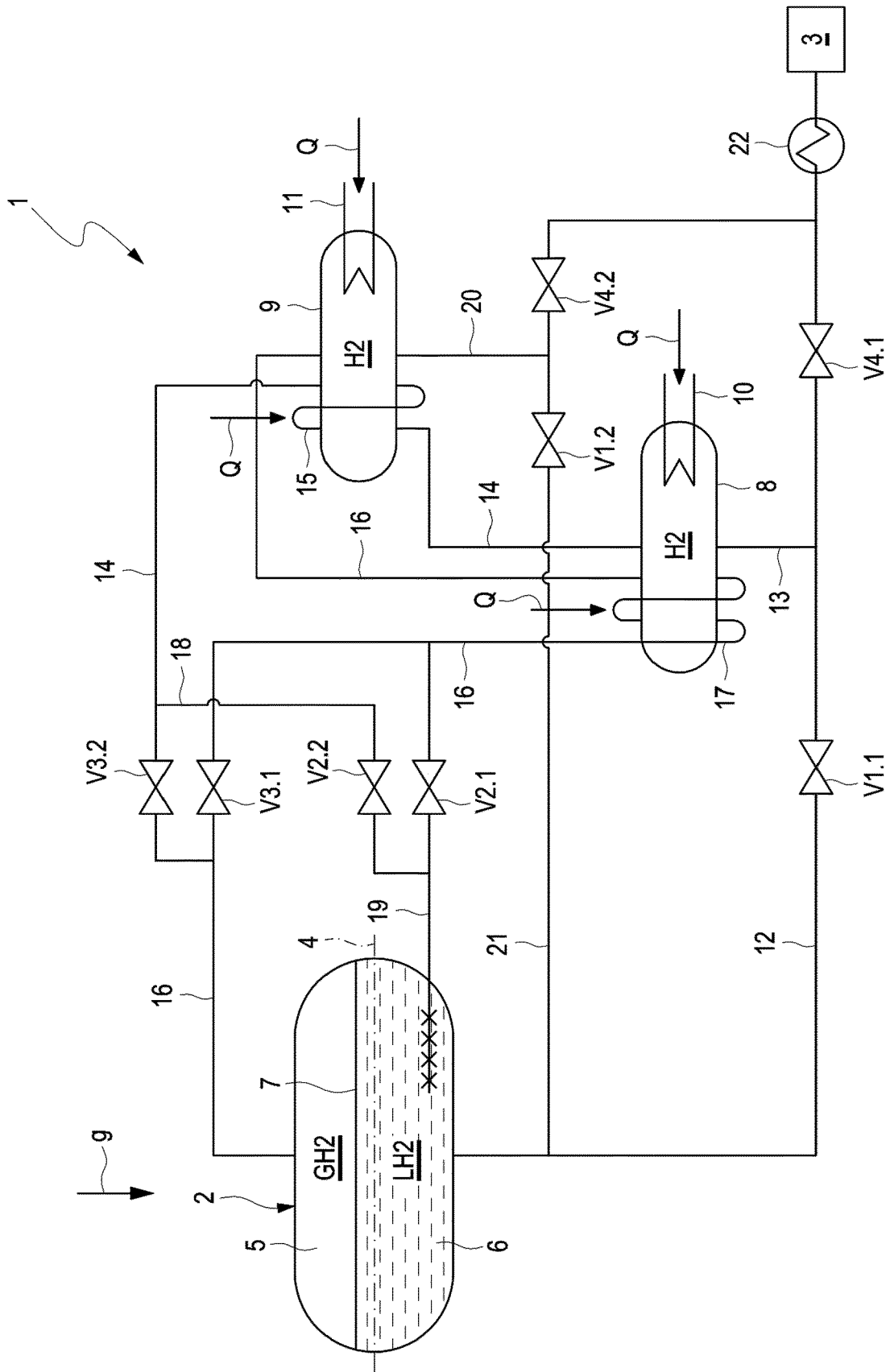


Fig. 1

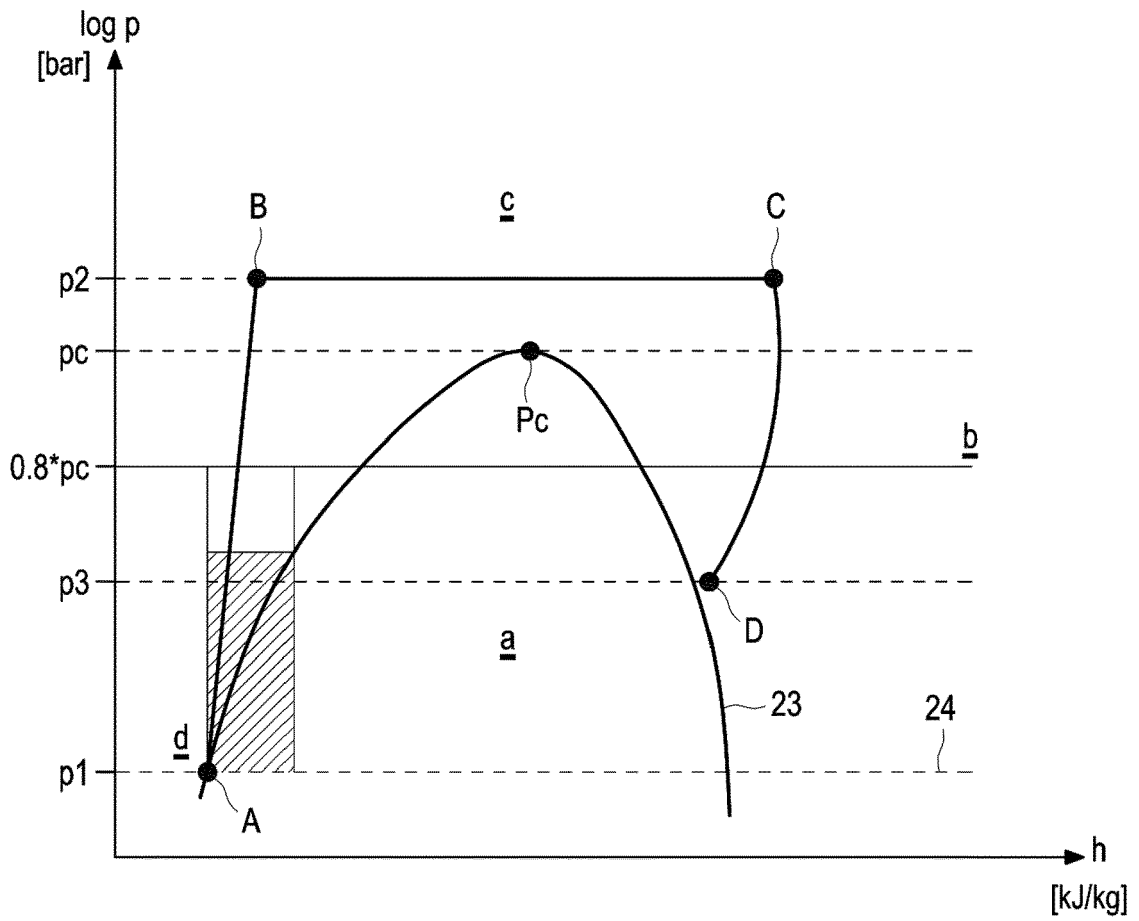


Fig. 2

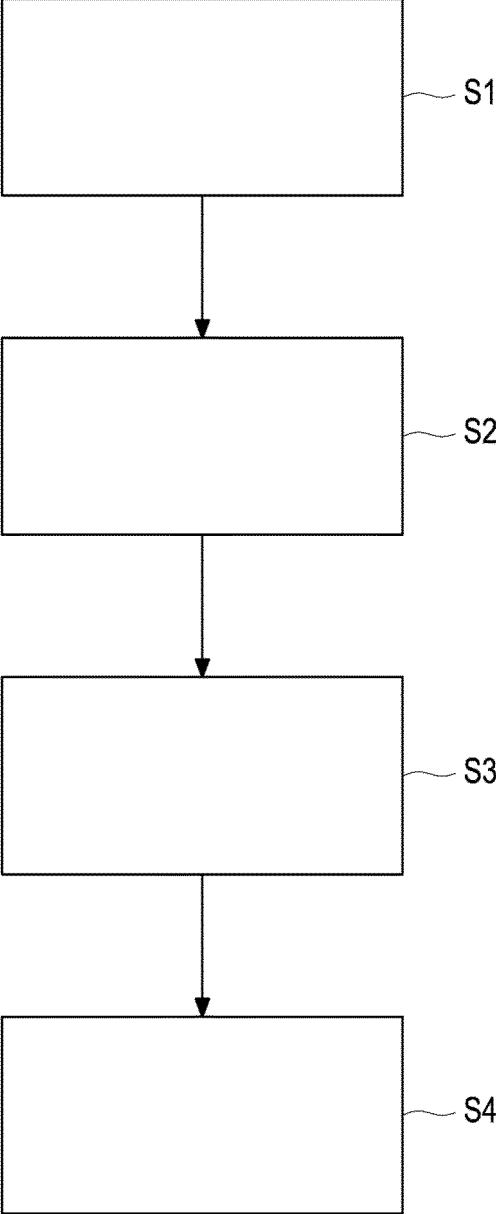


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 02 0549

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	AU 2021 383 247 A1 (LINDE GMBH [DE]) 22. Juni 2023 (2023-06-22) * Absätze [0054] - [0089]; Abbildung 2 * -----	1-15	INV. F17C9/04
A	US 9 683 702 B2 (CHANG DAE JUN [KR]; SEO SU WON [KR] ET AL.) 20. Juni 2017 (2017-06-20) * Spalte 10, Zeile 7 - Spalte 11, Zeile 34; Abbildung 6 * -----	1,14	
			RECHERCHIERTES SACHGEBIETE (IPC)
			F17C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 6. Mai 2024	Prüfer Fritzen, Claas
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 02 0549

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

06-05-2024

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
AU 2021383247 A1	22-06-2023	AU 2021383247 A1	22-06-2023
		EP 4248124 A1	27-09-2023
		JP 2023550729 A	05-12-2023
		KR 20230104719 A	10-07-2023
		US 2023417368 A1	28-12-2023
		WO 2022106053 A1	27-05-2022

US 9683702 B2	20-06-2017	CN 103328877 A	25-09-2013
		SG 190435 A1	31-07-2013
		US 2013327421 A1	12-12-2013
		WO 2012074283 A2	07-06-2012

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82