

(19)



(11)

**EP 4 392 703 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

**30.04.2025 Patentblatt 2025/18**

(21) Anmeldenummer: **22765406.8**

(22) Anmeldetag: **17.08.2022**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**F17C 9/02 (2006.01)**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**F17C 9/02**; F17C 2205/0326; F17C 2205/0338;  
F17C 2221/011; F17C 2221/012; F17C 2221/014;  
F17C 2221/017; F17C 2223/0161; F17C 2223/033;  
F17C 2223/046; F17C 2225/0123; F17C 2225/033;  
F17C 2227/01; F17C 2227/0302; F17C 2227/0393;  
(Forts.)

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2022/025381**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2023/025410 (02.03.2023 Gazette 2023/09)**

(54) **VERFAHREN UND FÖRDERVORRICHTUNG**

METHOD AND CONDITIONING DEVICE

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE CONDITIONNEMENT

(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 MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **23.08.2021 EP 21020422**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**03.07.2024 Patentblatt 2024/27**

(73) Patentinhaber: **Linde GmbH  
82049 Pullach (DE)**

(72) Erfinder:

- **WELLENHOFER, Anton  
82049 Pullach (DE)**
- **MÜLLER, Eva  
82049 Pullach (DE)**
- **FELBINGER, Stefan  
82049 Pullach (DE)**
- **WOLFERSTETTER, Clemens  
82049 Pullach (DE)**
- **ZENZ, Harald  
82049 Pullach (DE)**

- **WELLENHOFER, Kathrin  
82049 Pullach (DE)**
- **HAKEMI, Nabeel  
82049 Pullach (DE)**
- **TONEVA, Petya  
82049 Pullach (DE)**
- **CRUZ, Jose Albert  
82049 Pullach (DE)**
- **DURNEV, Denis  
82049 Pullach (DE)**
- **SCHAFRANEK, Johannes  
82049 Pullach (DE)**

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

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A1-2007/048488 US-A- 5 231 838**  
**US-A- 6 044 647 US-A1- 2014 076 290**

**EP 4 392 703 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC): (Forts.)  
F17C 2227/04; F17C 2250/01; F17C 2250/032;  
F17C 2250/034; F17C 2250/043; F17C 2250/0443;  
F17C 2260/02; F17C 2270/0105; F17C 2270/0165;  
F17C 2270/0184

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Versorgen eines Verbrauchers mit einem Kryogen aus einem Speicherbehälter und eine Fördervorrichtung zum Versorgen eines Verbrauchers mit einem Kryogen aus einem Speicherbehälter.

**[0002]** Speicherbehälter für flüssigen Wasserstoff können gemäß betriebsinternen Erkenntnissen der Anmelderin 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 beispielsweise 1 bis 2,5 bara zur Verfügung gestellt werden kann. Im Betrieb eines derartigen Speicherbehälters, beispielsweise im maritimen Bereich, kann eine Bewegung des Speicherbehälters, beispielsweise 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]** Der Anmelderin 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. US 2014/076290 A1 offenbart eine Vorrichtung zur Versorgung eines Verbrauchers mit gasförmigem Wasserstoff aus einem Flüssigwasserstoff-Speichertank. Eine mechanische Kryopumpe wird nicht benötigt.

**[0004]** WO 2014/076290 A1 bildet den Oberbegriff des Anspruchs 1.

**[0005]** 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.

**[0006]** Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein verbessertes Verfahren zum Versorgen eines Verbrauchers mit einem Kryogen aus einem Speicherbehälter zur Verfügung zu stellen.

**[0007]** Demgemäß wird ein Verfahren zum Versorgen eines Verbrauchers mit einem Kryogen aus einem Speicherbehälter vorgeschlagen. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte: a) Einleiten eines Teils des Kryogens aus dem Speicherbehälter in ein von dem Verbraucher und von dem Speicherbehälter abtrennbares Volumen, b) Abtrennen des Volumens von dem Verbraucher und von dem Speicherbehälter, indem zuerst ein zwischen dem Volumen und dem Verbraucher angeordnetes Versorgungsventil und anschließend ein zwischen dem

Speicherbehälter und dem Volumen angeordnetes Einlassventil geschlossen wird, c) Verdampfen des Kryogens in dem Volumen, so dass das Volumen mit einem Druck beaufschlagt wird, der höher als ein in dem Speicherbehälter herrschender Druck ist, und d) Ausleiten des verdampften Kryogens aus dem Volumen zu dem Verbraucher bei einer Lastanforderung des Verbrauchers, indem das Versorgungsventil geöffnet wird, wobei das Einlassventil bei geöffnetem Versorgungsventil geöffnet wird, sobald der Druck in dem Volumen unter den in dem Speicherbehälter herrschenden Druck abfällt.

**[0008]** Dadurch, dass das Volumen als Druckspeicher zum Versorgen des Verbrauchers mit dem verdampften Kryogen eingesetzt werden kann, hat eine Bewegung des Speicherbehälters, beispielsweise bei hohem Seegang, keine negativen Auswirkungen auf die Versorgung des Verbrauchers mit dem verdampften Kryogen. Der Speicherbehälter kann hierdurch bei einem möglichst niedrigen Druck betrieben werden. Dies verlängert die Haltezeit des Kryogens. Ferner kann auf bewegliche Teile, wie diese bei einer Kryopumpe vorhanden sind, verzichtet werden.

**[0009]** Das Kryogen ist vorzugsweise Wasserstoff. Die Begriffe "Kryogen" und "Wasserstoff" können daher beliebig gegeneinander 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. Der Begriff "Kryogen" kann somit beides, nämlich die Gasphase und die Flüssigphase, umfassen. Der Begriff "verdampftes Kryogen" bezieht sich vorliegend bevorzugt nur auf die Gasphase des Kryogens.

**[0010]** In dem Speicherbehälter bildet sich nach oder bei einem Einfüllen des Kryogens in den Speicherbehälter eine Gaszone sowie eine darunterliegende Flüssigkeitszone. Zwischen der Gaszone und der Flüssigkeitszone ist eine Phasengrenze vorgesehen. Das Kryogen weist also nach dem Einfüllen in den Speicherbehälter vorzugsweise zwei Phasen mit unterschiedlichen Aggregatzuständen, nämlich flüssig und gasförmig, auf. Die flüssige Phase kann in die gasförmige Phase und umgekehrt übergehen. Die flüssige Phase kann als Flüssigphase bezeichnet werden. Die gasförmige Phase kann als Gasphase bezeichnet werden. Auch eine rein flüssige Befüllung des Speicherbehälters ist möglich. Der in dem Speicherbehälter herrschende Druck liegt bevorzugt bei etwa 3,5 bara. Der in dem Speicherbehälter herrschende Druck ist insbesondere konstant.

**[0011]** 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 vollständig verdampft. Beispielsweise wird das Kryogen dem Verbraucher mit einem Versorgungsdruck von 1 bis 2,5 bara und einer Temperatur von +10 bis +25 °C zugeführt. Der Versorgungsdruck kann jedoch auch bis zu 6 bara betragen.

**[0012]** Wie zuvor erwähnt, kann das Kryogen zweiphasig sein. Vorzugsweise wird in oder während des Schritts a) die Flüssigphase oder ein Teil der Flüssigphase des Kryogens aus dem Speicherbehälter in das von dem Verbraucher und von dem Speicherbehälter abtrennbare Volumen eingeleitet. Unter einem "Teil" ist insbesondere zu verstehen, dass ein gewisses Volumen der Flüssigphase des Kryogens aus dem Speicherbehälter in das Volumen geleitet wird. Ein Rest der Flüssigphase verbleibt in dem Speicherbehälter. Hierzu kann ein Ventil oder es können mehrere Ventile vorgesehen sein. Die Schritte a) bis d) werden bevorzugt aufeinanderfolgend durchgeführt. Für das Durchführen des Verfahrens wird insbesondere eine nachfolgend noch erläuterte Fördervorrichtung eingesetzt.

**[0013]** Das Volumen kann beispielsweise durch einen Behälter, eine Rohrschleife oder dergleichen verwirklicht werden. Das Volumen kann auch als Header oder Sammler bezeichnet werden. Die Begriffe "Volumen", "Header" und "Sammler" können vorliegend beliebig gegeneinander getauscht werden. Unter einem "Volumen" ist vorliegend ganz allgemein ein Bereich zu verstehen, der fluidisch von dem Speicherbehälter und dem Verbraucher abgetrennt und unter Druck gesetzt werden kann. Das Volumen dient somit als Druckspeicher. Das Volumen kann daher auch als Druckspeicher bezeichnet werden. Das heißt, dass die Begriffe "Volumen" und "Druckspeicher" beliebig gegeneinander getauscht werden können.

**[0014]** In oder während des Schritts b) wird das Volumen vorzugsweise mit Hilfe von Ventilen von dem Verbraucher und von dem Speicherbehälter abgetrennt. Unter "Abtrennen" ist vorliegend zu verstehen, dass eine Fluidverbindung oder eine fluidische Verbindung zwischen dem Volumen und dem Verbraucher sowie zwischen dem Volumen und dem Speicherbehälter getrennt wird, so dass das Fluid weder aus dem Speicherbehälter in das abgetrennte Volumen hineinströmen noch das Fluid aus dem abgetrennten Volumen zu dem Verbraucher strömen kann.

**[0015]** In oder während des Schritts c) wird insbesondere die in dem abgeschlossenen Volumen verbleibende flüssige Phase des Kryogens verdampft. Hierzu wird vorzugsweise Wärme in das Kryogen eingebracht. Durch das Verdampfen des Kryogens in dem abgetrennten Volumen steigt der Druck in dem Volumen. Beispiels-

weise steigt der Druck in dem Volumen auf einen Druck von 3 bis 10 bara. Vorzugsweise herrscht in dem Speicherbehälter ein im Wesentlichen konstanter Druck von beispielsweise 3,5 bara.

**[0016]** Das Ausleiten des verdampften Kryogens in oder während des Schritts d) aus dem Volumen zu dem Verbraucher erfolgt vorzugsweise mit Hilfe eines Ventils, insbesondere eines Versorgungsventils, welches in Abhängigkeit von der Lastanforderung des Verbrauchers angesteuert werden kann, um den Verbraucher mit dem verdampften Kryogen zu versorgen. Das Ventil ist insbesondere auch geeignet, dem Verbraucher das Kryogen mit dem geeigneten Versorgungsdruck zuzuführen. In oder während des Schritts d) wird somit eine Fluidverbindung oder fluidische Verbindung zwischen dem Volumen und dem Verbraucher hergestellt, so dass das verdampfte Kryogen aus dem Volumen zu dem Verbraucher strömen kann. Hierbei kann mit Hilfe des Ventils eine Druckreduktion durchgeführt werden.

**[0017]** Gemäß einer Ausführungsform wird während des Schritts d) der in dem Volumen herrschende Druck bei dem Ausleiten des Kryogens aus dem Volumen mit Hilfe des Versorgungsventils auf einen für den Verbraucher geeigneten Versorgungsdruck reduziert.

**[0018]** Wie zuvor erwähnt, kann der geeignete Versorgungsdruck beispielsweise 1 bis 2,5 bara betragen. Eine geeignete Versorgungstemperatur kann +10 bis +25 °C betragen. Das Versorgungsventil kann mit Hilfe einer Steuer- und Regeleinrichtung derart angesteuert werden, dass dieses den in dem abgetrennten Volumen herrschenden Druck auf den geeigneten Versorgungsdruck reduziert.

**[0019]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der für den Verbraucher geeignete Versorgungsdruck kleiner als der in dem Speicherbehälter herrschende Druck.

**[0020]** Wie zuvor erwähnt, kann der in dem Speicherbehälter herrschende Druck 3,5 bara betragen. Demgegenüber beträgt der geeignete Versorgungsdruck 1 bis 2,5 bara. Mit Hilfe des Versorgungsventils kann der in dem Speicherbehälter herrschende Druck auf den geeigneten Versorgungsdruck reduziert werden.

**[0021]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird während des Schritts d) das Versorgungsventil in Abhängigkeit von der Lastanforderung des Verbrauchers geöffnet.

**[0022]** Das heißt insbesondere, dass das Versorgungsventil erst dann geöffnet wird, wenn eine Lastanforderung des Verbrauchers vorliegt. Das Versorgungsventil kann stufenlos geöffnet werden, um einen Volumenstrom an verdampftem Kryogen an die Lastanforderung des Verbrauchers anzupassen.

**[0023]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird während des Schritts d) das Versorgungsventil mit Hilfe einer Steuer- und Regeleinrichtung basierend auf Sensorsignalen eines stromabwärts des Versorgungsventils angeordneten Drucksensors und/oder eines Durchflusssensors angesteuert.

**[0024]** "Stromabwärts" bedeutet vorliegend entlang ei-

ner Strömungsrichtung des Kryogens von dem Speicherbehälter zu dem Verbraucher betrachtet. Die Steuer- und Regeleinrichtung ist dazu eingerichtet, Sensorsignale des Drucksensors und/oder des Durchflusssensors zu empfangen und geeignet auszuwerten. Auf Basis der Sensorsignale des Drucksensors und/oder des Durchflusssensors kann die Steuer- und Regeleinrichtung dann das Versorgungsventil ansteuern.

**[0025]** Während des Schritts b) wird das Versorgungsventil geschlossen.

**[0026]** Das Versorgungsventil bleibt so lange geschlossen, bis die Lastanforderung des Verbrauchers vorliegt. Sobald die Lastanforderung des Verbrauchers vorliegt, beginnt sich das Versorgungsventil zu öffnen, um den Verbraucher mit dem Kryogen bei dem geeigneten Versorgungsdruck zu versorgen.

**[0027]** Während des Schritts b) wird das stromaufwärts des Versorgungsventils platzierte Einlassventil geschlossen.

**[0028]** Mit Hilfe des Versorgungsventils und des Einlassventils ist das Volumen von dem Verbraucher und von dem Speicherbehälter abtrennbar. Das Volumen ist somit zwischen dem Einlassventil und dem Versorgungsventil platziert, angeordnet oder vorgesehen. "Stromaufwärts" ist vorliegend mit Bezug auf die Strömungsrichtung des Kryogens von dem Speicherbehälter zu dem Verbraucher zu verstehen.

**[0029]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist das Einlassventil geschlossen, solange der Druck in dem Volumen größer als der in dem Speicherbehälter herrschende Druck ist.

**[0030]** Solange das Einlassventil geschlossen ist, kann somit kein Kryogen aus dem Speicherbehälter in das Volumen nachströmen. Dadurch, dass das Einlassventil geschlossen ist, wird verhindert, dass das Kryogen, solange der Druck in dem Volumen größer als der in dem Speicherbehälter herrschende Druck ist, aus dem Volumen zurück in den Speicherbehälter gedrückt wird.

**[0031]** Das Einlassventil wird geöffnet, sobald der Druck in dem Volumen unter den in dem Speicherbehälter herrschenden Druck abfällt.

**[0032]** Sobald das Einlassventil geöffnet ist, kann das Kryogen aus dem Speicherbehälter in das Volumen nachfließen. Mit Hilfe des Versorgungsventils kann dann der in dem Speicherbehälter herrschende Druck auf den geeigneten Versorgungsdruck für den Verbraucher reduziert werden. Das Kryogen aus dem Speicherbehälter kann mit Hilfe einer dem Volumen zugeordneten Verdampfereinheit verdampft werden.

**[0033]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird während des Schritts c) mit Hilfe einer Verdampfereinheit Wärme in das Kryogen eingebracht, um dieses zu verdampfen.

**[0034]** Die Verdampfereinheit kann beispielsweise eine elektrische Heizeinrichtung sein oder umfassen. Die Verdampfereinheit kann beispielsweise auch ein beliebiger Wärmeübertrager oder Wärmetauscher sein. Die Verdampfereinheit kann Teil des Volumens sein.

**[0035]** Ferner wird eine Fördervorrichtung zum Versorgen eines Verbrauchers mit einem Kryogen aus einem Speicherbehälter vorgeschlagen. Die Fördervorrichtung umfasst ein Einlassventil, das zwischen dem Speicherbehälter und einem von dem Verbraucher und von dem Speicherbehälter abtrennbaren Volumen angeordnet ist, ein Versorgungsventil, das zwischen dem Volumen und dem Verbraucher angeordnet ist, eine Verdampfereinheit, und eine Steuer- und Regeleinrichtung, wobei die Steuer- und Regeleinrichtung dazu eingerichtet ist, das Einlassventil derart anzusteuern, dass das Einlassventil, einen Teil des Kryogens aus dem Speicherbehälter in das Volumen einleitet, wobei die Steuer- und Regeleinrichtung dazu eingerichtet ist, das Einlassventil und das Versorgungsventil derart anzusteuern, dass das Einlassventil und das Versorgungsventil das Volumen von dem Verbraucher und von dem Speicherbehälter abtrennen, wobei die Steuer- und Regeleinrichtung dazu eingerichtet ist, zuerst das Versorgungsventil und anschließend das Einlassventil zu schließen, wobei die Verdampfereinheit dazu eingerichtet ist, das in dem abgetrennten Volumen aufgenommene Kryogen zu verdampfen, um das abgetrennte Volumen mit einem Druck zu beaufschlagen, der höher als ein in dem Speicherbehälter herrschender Druck ist, wobei die Steuer- und Regeleinrichtung dazu eingerichtet ist, das Versorgungsventil derart anzusteuern, dass das Versorgungsventil das verdampfte Kryogen bei einer Lastanforderung des Verbrauchers aus dem abgetrennten Volumen zu dem Verbraucher ausleitet, und wobei die Steuer- und Regeleinrichtung dazu eingerichtet ist, das Einlassventil bei geöffnetem Versorgungsventil zu öffnen, sobald der Druck in dem Volumen unter den in dem Speicherbehälter herrschenden Druck abfällt.

**[0036]** Mit Hilfe der Fördervorrichtung kann das zuvor erläuterte Verfahren durchgeführt werden. Die Fördervorrichtung kann den Speicherbehälter umfassen. Die Fördervorrichtung kann auch den Verbraucher umfassen. Alternativ können der Speicherbehälter und/oder der Verbraucher auch nicht Teil der Fördervorrichtung sein. Die Fördervorrichtung kann auch Teil einer Förderanordnung sein, welche neben der Fördervorrichtung den Verbraucher und/oder den Speicherbehälter aufweisen kann.

**[0037]** Das "Volumen" unterscheidet sich von dem "abgetrennten Volumen" dadurch, dass bei dem abgetrennten Volumen das Einlassventil und das Versorgungsventil geschlossen sind, um so das Volumen von dem Verbraucher und von dem Speicherbehälter abzutrennen. Dass das Einlassventil "dazu eingerichtet ist", einen Teil des Kryogens aus dem Speicherbehälter in das Volumen einzuleiten, bedeutet vorliegend insbesondere, dass das Einlassventil geöffnet und geschlossen werden kann, so dass das Kryogen, insbesondere die Flüssigphase des Kryogens, aus dem Speicherbehälter in das Volumen einströmen kann.

**[0038]** Dass das Einlassventil und das Versorgungsventil "dazu eingerichtet sind", das Volumen von dem

Verbraucher und von dem Speicherbehälter abzutrennen, bedeutet vorliegend insbesondere, dass das Einlassventil und das Versorgungsventil zum Abtrennen des Volumens beide geschlossen werden können, um so das Volumen abzutrennen. Die Verdampfeinheit ist insbesondere dazu geeignet, mit Hilfe des Einbringens von Wärme in das Kryogen das Kryogen zu verdampfen. Das verdampfte Kryogen kann dem Verbraucher mit Hilfe des Versorgungsventils aus dem abgetrennten Volumen zugeführt werden. Hierzu kann das Versorgungsventil geöffnet und geschlossen werden.

**[0039]** Gemäß einer Ausführungsform ist das Versorgungsventil stromabwärts des Einlassventils angeordnet.

**[0040]** Das heißt, dass das Versorgungsventil entlang der Strömungsrichtung des Kryogens von dem Speicherbehälter zu dem Verbraucher betrachtet nach dem Einlassventil platziert ist.

**[0041]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist das Volumen zwischen dem Einlassventil und dem Versorgungsventil vorgesehen.

**[0042]** Das Volumen kann ein beliebiger Hohlraum sein, der mit Hilfe des Verdampfens des Kryogens unter Druck gesetzt werden kann. Das Volumen kann, wie zuvor erwähnt, auch als Sammler, Header oder Druckspeicher bezeichnet werden.

**[0043]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist das Volumen mit Hilfe einer oder mehrerer Rohrschleifen, einer Rohrleitung und/oder eines Speichervolumens gebildet.

**[0044]** Beispielsweise wird das Volumen durch eine Rohrschleife mit einer Länge von 15 bis 20 m und einem Rohrdurchmesser von 200 bis 600 mm, insbesondere bis 400 mm, gebildet. Das Volumen kann eine mäandrierend geschwungene Rohrschleife umfassen. Das Speichervolumen kann ein beliebiger Behälter oder dergleichen sein.

**[0045]** Die Fördervorrichtung umfasst ferner die Steuer- und Regeleinrichtung zum Ansteuern des Einlassventils und/oder des Versorgungsventils.

**[0046]** Vorzugsweise sind stromabwärts des Versorgungsventils ein Drucksensor sowie ein Durchflusssensor vorgesehen. Der Drucksensor und der Durchflusssensor stellen der Steuer- und Regeleinrichtung Signale zur Verfügung, so dass die Steuer- und Regeleinrichtung das Versorgungsventil derart ansteuern kann, dass der Druck in dem Volumen bei dem Ausströmen des verdampften Kryogens mit Hilfe des Versorgungsventils auf den für den Verbraucher geeigneten Versorgungsdruck reduziert wird.

**[0047]** Die für das Verfahren beschriebenen Ausführungsformen und Merkmale gelten für die vorgeschlagene Fördervorrichtung entsprechend und umgekehrt.

**[0048]** "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.

**[0049]** 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.

**[0050]** 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.

Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform einer Förderanordnung zum Fördern von Wasserstoff;

Fig. 2 zeigt ein Diagramm, das die Funktionalität der Förderanordnung gemäß Fig. 1 schematisch darstellt; und

Fig. 3 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Ausführungsform eines Verfahrens zum Versorgen eines Verbrauchers mit einem Kryogen aus einem Speicherbehälter.

**[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 Förderanordnung 1 zum Fördern von Wasserstoff H<sub>2</sub> von einem Speicherbehälter 2 zu einem Verbraucher 3. Die Förderanordnung 1 ist dazu eingerichtet, den Verbraucher 3 unabhängig von Bewegungen des Speicherbehälters 2 kontinuierlich mit gasförmigem Wasserstoff H<sub>2</sub> mit einem konstanten Versorgungsdruck von maximal 6 bara, bevorzugt von 1 bis 2,5 bara, und einer Temperatur von etwa +10 bis +25 °C zu versorgen. Die Förderanordnung 1 kann auch als Wasserstoff-Förderanordnung bezeichnet werden. Der Speicherbehälter 2 und/oder der Verbraucher 3 können Teil der Förderanordnung 1 sein.

**[0053]** Die Förderanordnung 1 ist insbesondere für mobile Anwendungen geeignet. Bevorzugt kann die Förderanordnung Teil eines Fahrzeugs, insbesondere Teil eines Landfahrzeugs, eines Wasserfahrzeugs oder eines Luftfahrzeugs, sein. Beispielsweise ist die Förderanordnung 1 Teil eines Schiffes, wie beispielsweise einer Personenfähre, eines Kraftfahrzeugs, beispielsweise ei-

nes Lastkraftwagens oder Nutzfahrzeugs, oder dergleichen.

**[0054]** Der Speicherbehälter 2 kann auch als Speichertank bezeichnet werden. Es können auch mehrere Speicherbehälter 2 vorgesehen sein (nicht gezeigt). Der Speicherbehälter 2 kann rotationssymmetrisch zu einer Mittel- oder Symmetrieachse 4 aufgebaut sein. Dabei kann die Symmetrieachse 4 senkrecht zu einer Schwerkraftrichtung  $g$  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 Symmetrieachse 4 parallel zu der Schwerkraftrichtung  $g$  orientiert.

**[0055]** Der Speicherbehälter 2 ist zur Aufnahme von flüssigem Wasserstoff H<sub>2</sub> (Siedepunkt 1 bara: 20,268 K = -252,882 °C) geeignet. Daher kann der Speicherbehälter 2 auch als Wasserstoff-Speicherbehälter oder als Wasserstoff-Speichertank bezeichnet werden. 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 H<sub>2</sub> flüssiges Helium He (Siedepunkt 1 bara: 4,222 K = -268,928 °C), flüssiger Stickstoff N<sub>2</sub> (Siedepunkt 1 bara: 77,35 K = -195,80 °C) oder flüssiger Sauerstoff O<sub>2</sub> (Siedepunkt 1 bara: 90,18 K = - 182,97 °C).

**[0056]** In dem Speicherbehälter 2 ist der flüssige Wasserstoff H<sub>2</sub> aufgenommen. In dem Speicherbehälter 2 können, solange sich der Wasserstoff H<sub>2</sub> im Zweiphasengebiet befindet, eine Gaszone 5 mit verdampftem Wasserstoff H<sub>2</sub> und eine Flüssigkeitszone 6 mit flüssigem Wasserstoff H<sub>2</sub> vorgesehen sein. Der Wasserstoff H<sub>2</sub> 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 H<sub>2</sub> und dem gasförmigen Wasserstoff H<sub>2</sub>. Dem Speicherbehälter 2 ist ein Drucksensor 8 zugeordnet, der den Druck in dem Speicherbehälter 2 erfassen kann. Der Druck in dem Speicherbehälter 2 beträgt etwa 3,5 bara. Der Druck in dem Speicherbehälter 2 ist im Wesentlichen konstant.

**[0057]** Es können mehrere Verbraucher 3 vorgesehen sein. Nachfolgend wird jedoch auf nur einen Verbraucher 3 eingegangen. 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 H<sub>2</sub>, und eines Oxidationsmittels, vorliegend Sauerstoff, in elektrische Energie wandelt. Mit Hilfe der erhaltenen elektrischen Energie kann beispielsweise ein nicht gezeigter Elektromotor angetrieben werden. Für einen stabilen Betrieb des Verbrauchers 3 ist es, wie zuvor erwähnt, erforderlich, den Verbraucher 3 mit gasförmigem Wasserstoff bei einem definierten Versorgungsdruck zu versorgen.

**[0058]** Bei mobilen Anwendungen muss mit Bewegun-

gen des in dem Speicherbehälter 2 aufgenommenen flüssigen Wasserstoffs H<sub>2</sub> gerechnet werden. Bei einem liegend angeordneten zylinderförmigen Speicherbehälter 2 wird durch die Massenträgheit des flüssigen Wasserstoffs H<sub>2</sub> 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 H<sub>2</sub> begünstigt.

**[0059]** Dieses Schwappen, auch als Sloshing bezeichnet, führt zu einer Abkühlung der Gasphase in der Gaszone 5 über dem flüssigen Wasserstoff H<sub>2</sub> und dadurch zu einer Druckreduzierung eines sich über dem flüssigen Wasserstoff H<sub>2</sub> bildenden Gaspolsters. Dies kann in Abhängigkeit von den Bewegungen des Speicherbehälters 2 nachteilige Auswirkungen auf den für Betriebskomponenten des Verbrauchers 3 zur Verfügung stehenden Versorgungsdruck haben, was zu einem instabilen Betrieb des Verbrauchers 3 führen kann.

**[0060]** Um den geeigneten Versorgungsdruck für den Verbraucher 3 zur Verfügung stellen zu können, ist es möglich, eine flüssiggekühlte und flüssiggelagerte Pumpe zum Pumpen von flüssigem Wasserstoff H<sub>2</sub> einzusetzen. Eine derartige Pumpe weist jedoch bewegliche Teile auf. Weiterhin kann es bei einem intermittierenden Betrieb der Pumpe aufgrund einer Erwärmung derselben zu einer Blasenbildung in dem flüssigen Wasserstoff H<sub>2</sub> kommen. Dies kann zu einer Betriebsstörung der Pumpe führen. Alternativ kann der Wasserstoff H<sub>2</sub> zunächst verdampft und dann mit Hilfe eines Verdichters auf den nötigen Versorgungsdruck gebracht werden. Dies ist jedoch energetisch ungünstig.

**[0061]** Ferner kann auch der Speicherbehälter 2 direkt bei dem Versorgungsdruck betrieben werden. In diesem Fall stellt sich in dem Speicherbehälter 2 ein Gleichgewicht mit der Flüssigphase und der darüber geschichteten Gasphase ein. Aufgrund der niedrigen Oberflächenspannung von flüssigem Wasserstoff führt eine Bewegung des Speicherbehälters 2, beispielsweise bei einer Anordnung desselben an oder auf einem wie zuvor erwähnten Fahrzeug dazu, dass sich die Flüssigphase und die Gasphase miteinander mischen und so der flüssige Wasserstoff H<sub>2</sub> den wärmeren gasförmigen Wasserstoff H<sub>2</sub> abkühlt. Das Halten des Versorgungsdrucks ist dann nicht möglich, bis sich ein Gleichgewicht zwischen der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs H<sub>2</sub> und des gasförmigen Wasserstoffs H<sub>2</sub> einstellt. Diese zuvor genannten Probleme gilt es mit Hilfe der Förderanordnung 1 zu lösen.

**[0062]** Die Förderanordnung 1 weist eine Fördervorrichtung 9 auf. Im Unterschied zu der Förderanordnung 1 sind der Speicherbehälter 2 und/oder der Verbraucher 3 bevorzugt nicht Teil der Fördervorrichtung 9. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass der Speicherbehälter 2 und/oder der Verbraucher 3 Teil der Fördervorrichtung 9 sind.

**[0063]** Die Fördervorrichtung 9 umfasst eine Leitung 10, die unterhalb der Phasengrenze 7, also im Bereich

der Flüssigkeitszone 6, aus dem Speicherbehälter 2 ausmündet. Mit Hilfe der Leitung 10 ist der flüssige Wasserstoff H<sub>2</sub> aus dem Speicherbehälter 2 einem Einlassventil V2 der Fördervorrichtung 9 zuführbar. Stromabwärts des Einlassventils V2 ist eine Verdampfeinheit 11 platziert. Die Verdampfeinheit 11 ist geeignet, den flüssigen Wasserstoff H<sub>2</sub> durch das Einbringen von Wärme Q zu verdampfen.

**[0064]** Das Einlassventil V2 ist über eine Wirkverbindung 12 mit einer Steuer- und Regeleinrichtung 13 der Fördervorrichtung 9 wirkverbunden. Die Wirkverbindung 12 kann eine Datenverbindung sein. Die Wirkverbindung 12 kann drahtlos oder drahtgebunden sein. Die Steuer- und Regeleinrichtung 13 ist geeignet, das Einlassventil V2 bedarfsweise zu öffnen und zu schließen. Die Steuer- und Regeleinrichtung 13 kann auch geeignet sein, Sensorsignale des Drucksensors 8 zu empfangen und/oder auszuwerten.

**[0065]** Von dem Einlassventil V2 führt ein Header 14 zu einem Versorgungsventil V1. Die Verdampfeinheit 11 kann Teil des Headers 14 sein. Der Header 14 kann durch die Verdampfeinheit 11 geführt sein. Die Verdampfeinheit 11 kann in den Header 14 geschaltet sein. Unter einem "Header" ist insbesondere ein umschlossenes Volumen zu verstehen, das unter Druck gesetzt werden kann. Insbesondere ist unter einem "Header" vorliegend ein zwischen den Ventilen V1, V2 gelegenes Volumen zu verstehen, das unter Druck gesetzt werden kann.

**[0066]** Der Header kann auch als Volumen, Druckspeicher oder Sammler bezeichnet werden. Die Begriffe "Header", "Volumen", "Druckspeicher" oder "Sammler" können demnach beliebig gegeneinander getauscht werden. Der Header 14 kann beispielsweise durch eine Rohrschleife oder mehrere Rohrschleifen mit beispielsweise einer Länge von 15 bis 20 m und einem Durchmesser von 200 bis 250 mm verwirklicht werden. Die Rohrschleife kann mäanderrförmig verlaufen. In dem Header 14 kann ein Druck von 3 bis 10 bara herrschen.

**[0067]** Der Header 14 ist ebenfalls Teil der Fördervorrichtung 9. In den Header 14 ist ein Drucksensor 15 zur Drucküberwachung des Headers 14 geschaltet. Der Drucksensor 15 ist in dem Header 14 stromabwärts der Verdampfeinheit 11 und stromaufwärts des Versorgungsventils V1 platziert. Die Begriffe "stromabwärts" und "stromaufwärts" sind im Hinblick auf eine Strömungsrichtung des Wasserstoffs H<sub>2</sub> von dem Speicherbehälter 2 zu dem Verbraucher 3 zu verstehen. Der Drucksensor 15 kann mit der Steuer- und Regeleinrichtung 13 derart kommunizieren, dass die Steuer- und Regeleinrichtung 13 Sensorsignale des Drucksensors 15 empfängt und/oder auswertet.

**[0068]** Das Versorgungsventil V1 ist über eine Wirkverbindung 16 mit der Steuer- und Regeleinrichtung 13 gekoppelt. Die Wirkverbindung 16 kann eine Datenverbindung sein. Die Wirkverbindung 16 kann drahtlos oder drahtgebunden sein. Die Steuer- und Regeleinrichtung 13 ist geeignet, das Versorgungsventil V1 bedarfsweise zu öffnen und zu schließen.

**[0069]** Dem Versorgungsventil V1 nachgeschaltet sind eine Leitung 17 und ein Verteiler 18, der den gasförmigen Wasserstoff H<sub>2</sub> auf mehrere Verbraucher 3 aufteilt. Für den Fall, dass nur ein Verbraucher 3 vorgesehen ist, kann auf den Verteiler 18 verzichtet werden. In der Leitung 17 und/oder in dem Verteiler 18 herrscht ein Druck von 1 bis 2,5 bara, also ein geeigneter Versorgungsdruck für den Verbraucher 3. Der Druck in dem Header 14 ist damit im Vergleich zu dem Druck in der Leitung 17 und/oder dem Verteiler 18 deutlich höher.

**[0070]** Die Leitung 17 weist einen Drucksensor 19 auf, der über eine Wirkverbindung 20 mit der Steuer- und Regeleinrichtung 13 gekoppelt ist. Ferner umfasst die Leitung 17 einen Durchflusssensor 21, der über eine Wirkverbindung 22 mit der Steuer- und Regeleinrichtung 13 gekoppelt ist. Die Steuer- und Regeleinrichtung 13 ist dazu eingerichtet, Sensorsignale des Drucksensors 19 und/oder des Durchflusssensors 21 auszuwerten und über die Wirkverbindungen 20, 22 zu empfangen.

**[0071]** Die Funktionalität der Förderanordnung 1 beziehungsweise der Fördervorrichtung 9 wird nachfolgend mit Bezug auf die Fig. 2 erläutert, die ein Diagramm zeigt, bei dem ein Druck p in dem Speicherbehälter 2 beziehungsweise in dem Header 14 sowie eine Last oder Lastanforderung L des Verbrauchers 3 über der Zeit t aufgetragen sind.

**[0072]** In der Fig. 2 ist auf der Rechtsachse die Zeit t in Sekunden aufgetragen. Auf der Hochachse ist der Druck p in dem Speicherbehälter 2 beziehungsweise in dem Header 14 in bar und die Lastanforderung L des Verbrauchers 3 in Prozent aufgetragen. Ein in dem Header 14 herrschender Druck p<sub>14</sub> ist mit einer durchgezogenen Linie dargestellt. Ein in dem Speicherbehälter 2 herrschender Druck p<sub>2</sub>, der im Wesentlichen konstant ist, ist mit einer strichpunktieren Linie illustriert. Eine gestrichelte Linie 23 stellt ein Öffnungs- und Schließverhalten des Versorgungsventils V1 dar. Eine doppelt strichpunktieren Line 24 stellt ein Öffnungs- und Schließverhalten des Einlassventils V2 dar. Die Lastanforderung L des Verbrauchers 3 ist mit einer punktierten Linie dargestellt.

**[0073]** Zu einem Zeitpunkt t<sub>0</sub> sind beide Ventile V1, V2 vollständig geöffnet. Solange der Verbraucher 3 eine Lastanforderung L aufweist, ist das Einlassventil V2 geöffnet und das Versorgungsventil V1 regelt den Strom an gasförmigem Wasserstoff H<sub>2</sub> zu dem Verbraucher 3. Dies erfolgt anhand von Sensordaten des Drucksensors 19 und/oder des Durchflusssensors 21 mit Hilfe der Steuer- und Regeleinrichtung 13. Die Verdampfeinheit 11 verdampft den flüssigen Wasserstoff H<sub>2</sub> aus dem Speicherbehälter 2.

**[0074]** Zu einem Zeitpunkt t<sub>1</sub> beginnt sich die Lastanforderung L zu reduzieren. Entsprechend der sinkenden Lastanforderung L wird das Versorgungsventil V1 mit einer geringen Verzögerung ab einem Zeitpunkt t<sub>2</sub> geschlossen. Zu einem Zeitpunkt t<sub>3</sub> ist die Lastanforderung L bei Null Prozent. Das Versorgungsventil V1 ist mit einer geringen Verzögerung zu einem Zeitpunkt t<sub>4</sub> vollständig geschlossen. Zu dem Zeitpunkt t<sub>3</sub> ist das Ein-

lassventil V2 noch vollständig geöffnet. Zu dem Zeitpunkt t4 wird das Einlassventil V2 vollständig geschlossen. Ab dem Zeitpunkt t4 wird der Verbraucher 3 demgemäß auch nicht mehr mit Wasserstoff H2 versorgt. Der Verbraucher 3 wird nur bei einer Lastanforderung L mit Wasserstoff H2 versorgt.

**[0075]** Der Header 14 bildet nun ab dem Zeitpunkt t4 ein abgeschlossenes Volumen. Mit Hilfe der Verdampferereinheit 11 kann der Header 14 nun dadurch unter Druck gesetzt werden, dass der flüssige Wasserstoff H2 aus dem Speicherbehälter 2 verdampft wird. Die Verdampferereinheit 11 bringt hierzu Wärme Q in den flüssigen Wasserstoff H2 ein. Das Verdampfen des Wasserstoffs H2 ist in dem Diagramm mit Hilfe eines schraffierten Bereichs 25 angedeutet. Zu einem Zeitpunkt t5 ist der Wasserstoff H2 in dem Header 14 und in der Verdampferereinheit 11 vollständig verdampft und in dem Header 14 herrscht, wie zuvor erwähnt, ein Druck von 3 bis 10 bara.

**[0076]** Der schraffierte Bereich 25 stellt insbesondere den Druckaufbau durch eine Nachverdampfung des in der Verdampferereinheit 11 noch vorliegenden flüssigen Wasserstoffs H2 dar. Im Normalbetrieb ist die Verdampferereinheit 11 nicht vollständig gasförmig gefüllt, sondern in Rohren der Verdampferereinheit 11 ergibt sich aus der Last und der Wärmeübertragung ein Flüssigstand. Dieser Flüssigkeitsstand des flüssigen Wasserstoffs H2 wird zum Druckaufbau genutzt. Zu dem Zeitpunkt t5 ist sämtlicher Wasserstoff H2 in der Verdampferereinheit 11 und in dem Header 14 verdampft.

**[0077]** Zu einem beliebigen Zeitpunkt t6, zu dem noch beide Ventile V1, V2 geschlossen sind, erfolgt eine Lastanforderung L des Verbrauchers 3. Das Versorgungsventil V1 wird mit einer geringen Verzögerung zu einem Zeitpunkt t7 geöffnet und auf Basis von Sensordaten des Drucksensors 19 und des Durchflusssensors 21 über die Steuer- und Regeleinrichtung 13 derart angesteuert, dass der Verbraucher 3 mit gasförmigem Wasserstoff H2 mit einem wie zuvor erwähnten geeigneten Versorgungsdruck versorgt wird. Durch den in dem Header 14 gespeicherten Wasserstoff H2 ist ein schnelles Anfahren des Verbrauchers 3 möglich, wie in der Fig. 2 mit Hilfe eines schraffierten Bereichs 26 angedeutet ist.

**[0078]** Da in dem Header 14 zu dem Zeitpunkt t6 nun ein hoher Druck p14 herrscht, ist es möglich, den Verbraucher 3 sofort mit gasförmigen Wasserstoff H2 zu versorgen. Es kann darauf verzichtet werden, bei der Lastanforderung L zunächst die Verdampferereinheit 11 zu füllen und den flüssigen Wasserstoff H2 zu verdampfen. Zu einem Zeitpunkt t8 ist die Lastanforderung bei 100 Prozent. Das Versorgungsventil V1 ist mit einer geringen Verzögerung zu einem Zeitpunkt t9 vollständig geöffnet. Das Einlassventil V2 ist zu dem Zeitpunkt t9 noch geschlossen.

**[0079]** Zu einem Zeitpunkt t10 fällt der Druck in dem Header 14 unter den Druck in dem Speicherbehälter 2. Mit einer geringen Verzögerung kann zu einem Zeitpunkt t11 das Einlassventil V2 wieder geöffnet werden, um die Verdampferereinheit 11 und/oder den Header 14 mit flüs-

sigem Wasserstoff H2 aus dem Speicherbehälter 2 zu beschicken. Die Versorgung des Verbrauchers 3 mit dem geeigneten Versorgungsdruck kann dann wieder über das Versorgungsventil V1 erfolgen.

**[0080]** Die Fig. 3 zeigt ein schematisches Blockdiagramm einer Ausführungsform eines Verfahrens zum Versorgen des Verbrauchers 3 mit Wasserstoff H2 aus dem Speicherbehälter 2. Das Verfahren wird mit Hilfe der Förderanordnung 1 beziehungsweise der Fördervorrichtung 9 durchgeführt.

**[0081]** Bei dem Verfahren wird in einem Schritt S1 ein Teil des Wasserstoffs H2 aus dem Speicherbehälter 2 in den von dem Verbraucher 3 und von dem Speicherbehälter 2 abtrennbaren Header 14 eingeleitet. Hierzu ist das Einlassventil V2 geöffnet. In einem Schritt S2 wird der Header 14 von dem Verbraucher 3 und von dem Speicherbehälter 2 abgetrennt. Hierzu wird während des Schritts S2 das Versorgungsventil V1 geschlossen. Während des Schritts S2 wird auch das stromaufwärts des Versorgungsventils V1 platzierte Einlassventil V2 geschlossen.

**[0082]** In einem Schritt S3 wird der Wasserstoff H2 in dem abgetrennten Header 14 verdampft, so dass der Header 14 mit dem Druck p14 beaufschlagt wird, der höher als der in dem Speicherbehälter 2 herrschende Druck p2 ist. Während des Schritts S3 wird mit Hilfe der Verdampferereinheit 11 Wärme Q in den flüssigen Wasserstoff H2 in dem Header 14 eingebracht, um den flüssigen Wasserstoff H2 in dem Header 14 vollständig zu verdampfen.

**[0083]** In einem Schritt S4 wird bei einer Lastanforderung L des Verbrauchers 3 der verdampfte Wasserstoff H2 aus dem Header 14 zu dem Verbraucher 3 ausgeleitet. Während des Schritts S4 wird der in dem Header 14 herrschende Druck p14 bei dem Ausleiten des Wasserstoffs H2 aus dem Header 14 mit Hilfe des Versorgungsventils V1 auf den für den Verbraucher 3 geeigneten Versorgungsdruck reduziert. Der für den Verbraucher 3 geeignete Versorgungsdruck ist kleiner als der in dem Speicherbehälter 2 herrschende Druck p2.

**[0084]** Während des Schritts S4 wird das Versorgungsventil V1 in Abhängigkeit von der Lastanforderung L des Verbrauchers 3 geöffnet. Dabei wird das Versorgungsventil V1 mit Hilfe der Steuer- und Regeleinrichtung 13 basierend auf Sensorsignalen des stromabwärts des Versorgungsventils V1 angeordneten Drucksensors 19 und/oder des Durchflusssensors 21 angesteuert.

**[0085]** Das Einlassventil V2 bleibt geschlossen, solange der Druck p14 in dem Header 14 größer als der in dem Speicherbehälter herrschende Druck p2 ist. Das Einlassventil V2 wird geöffnet, sobald der Druck p14 in dem Header 14 unter den in dem Speicherbehälter herrschenden Druck p2 abfällt.

**[0086]** Obwohl die vorliegende Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben wurde, ist sie vielfältig modifizierbar.

Verwendete Bezugszeichen**[0087]**

1	Förderanordnung
2	Speicherbehälter
3	Verbraucher
4	Symmetrieachse
5	Gaszone
6	Flüssigkeitszone
7	Phasengrenze
8	Drucksensor
9	Fördervorrichtung
10	Leitung
11	Verdampfeinheit
12	Wirkverbindung
13	Steuer- und Regeleinrichtung
14	Header/Volumen
15	Drucksensor
16	Wirkverbindung
17	Leitung
18	Verteiler
19	Drucksensor
20	Wirkverbindung
21	Durchflusssensor
22	Wirkverbindung
23	Linie
24	Linie
25	Bereich
26	Bereich
g	Schwerkraftrichtung
H2	Wasserstoff/Kryogen
L	Lastanforderung
p	Druck
p2	Druck
p14	Druck
Q	Wärme
S1	Schritt
S2	Schritt
S3	Schritt
S4	Schritt
t	Zeit
t0	Zeitpunkt
t1	Zeitpunkt
t2	Zeitpunkt
t3	Zeitpunkt
t4	Zeitpunkt
t5	Zeitpunkt
t6	Zeitpunkt
t7	Zeitpunkt
t8	Zeitpunkt
t9	Zeitpunkt
t10	Zeitpunkt
t11	Zeitpunkt
V1	Versorgungsventil
V2	Einlassventil

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Versorgen eines Verbrauchers (3) mit einem Kryogen (H2) aus einem Speicherbehälter (2), mit folgenden Schritten:
  - a) Einleiten (S1) eines Teils des Kryogens (H2) aus dem Speicherbehälter (2) in ein von dem Verbraucher (3) und von dem Speicherbehälter (2) abtrennbares Volumen (14),
  - b) Abtrennen (S2) des Volumens (14) von dem Verbraucher (3) und von dem Speicherbehälter (2), indem zuerst ein zwischen dem Volumen (14) und dem Verbraucher (3) angeordnetes Versorgungsventil (V1) und anschließend ein zwischen dem Speicherbehälter (2) und dem Volumen (14) angeordnetes Einlassventil (V2) geschlossen wird,
  - c) Verdampfen (S3) des Kryogens (H2) in dem Volumen (14), so dass das Volumen (14) mit einem Druck (p14) beaufschlagt wird, der höher als ein in dem Speicherbehälter (2) herrschender Druck (p2) ist, **gekennzeichnet durch**
  - d) Ausleiten (S4) des verdampften Kryogens (H2) aus dem Volumen (14) zu dem Verbraucher (3) bei einer Lastanforderung (L) des Verbrauchers (3), indem das Versorgungsventil (V1) geöffnet wird, wobei das Einlassventil (V2) bei geöffnetem Versorgungsventil (V1) geöffnet wird, sobald der Druck (p14) in dem Volumen (14) unter den in dem Speicherbehälter (2) herrschenden Druck (p2) abfällt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei während des Schritts d) der in dem Volumen (14) herrschende Druck (p14) bei dem Ausleiten des Kryogens (H2) aus dem Volumen (14) mit Hilfe des Versorgungsventils (V1) auf einen für den Verbraucher (3) geeigneten Versorgungsdruck reduziert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der für den Verbraucher (3) geeignete Versorgungsdruck kleiner als der in dem Speicherbehälter (2) herrschende Druck (p2) ist.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei während des Schritts d) das Versorgungsventil (V1) in Abhängigkeit von der Lastanforderung (L) des Verbrauchers (3) geöffnet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 - 4, wobei während des Schritts d) das Versorgungsventil (V1) mit Hilfe einer Steuer- und Regeleinrichtung (13) basierend auf Sensorsignalen eines stromabwärts des Versorgungsventils (V1) angeordneten Drucksensors (19) und/oder eines Durchflusssensors (21) angesteuert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 5, wobei das Einlassventil (V2) geschlossen ist, solange der Druck (p14) in dem Volumen (14) größer als der in dem Speicherbehälter (2) herrschende Druck (p2) ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 6, wobei während des Schritts c) mit Hilfe einer Verdampfer-einheit (11) Wärme (Q) in das Kryogen (H2) eingebracht wird, um dieses zu verdampfen.
8. Fördervorrichtung (9) zum Versorgen eines Verbrauchers (3) mit einem Kryogen (H2) aus einem Speicherbehälter (2), mit einem Einlassventil (V2), das zwischen dem Speicherbehälter (2) und einem von dem Verbraucher (3) und von dem Speicherbehälter (2) abtrennbaren Volumen (14) angeordnet ist, einem Versorgungsventil (V1), das zwischen dem Volumen (14) und dem Verbraucher (3) angeordnet ist, einer Verdampfer-einheit (11), und einer Steuer- und Regeleinrichtung (13), wobei die Steuer- und Regeleinrichtung (13) dazu eingerichtet ist, das Einlassventil (V2) derart anzusteuern, dass das Einlassventil (V2) einen Teil des Kryogens (H2) aus dem Speicherbehälter (2) in das Volumen (14) einleitet, wobei die Steuer- und Regeleinrichtung (13) dazu eingerichtet ist, das Einlassventil (V2) und das Versorgungsventil (V1) derart anzusteuern, dass das Einlassventil (V2) und das Versorgungsventil (V1) das Volumen (14) von dem Verbraucher (3) und von dem Speicherbehälter (2) abtrennen, wobei die Steuer- und Regeleinrichtung (13) dazu eingerichtet ist, zuerst das Versorgungsventil (V1) und anschließend das Einlassventil (V2) zu schließen, wobei die Verdampfer-einheit (11) dazu eingerichtet ist, das in dem abgetrennten Volumen (14) aufgenommene Kryogen (H2) zu verdampfen, um das abgetrennte Volumen (14) mit einem Druck (p14) zu beaufschlagen, der höher als ein in dem Speicherbehälter (2) herrschender Druck (p2) ist, wobei die Steuer- und Regeleinrichtung (13) dazu eingerichtet ist, das Versorgungsventil (V1) derart anzusteuern, dass das Versorgungsventil (V1) das verdampfte Kryogen (H2) bei einer Lastanforderung des Verbrauchers (3) aus dem abgetrennten Volumen (14) zu dem Verbraucher (3) ausleitet, und wobei die Steuer- und Regeleinrichtung (13) dazu eingerichtet ist, das Einlassventil (V2) bei geöffnetem Versorgungsventil (V1) zu öffnen, sobald der Druck (p14) in dem Volumen (14) unter den in dem Speicherbehälter (2) herrschenden Druck (p2) abfällt.
9. Fördervorrichtung nach Anspruch 8, wobei das Versorgungsventil (V1) stromabwärts des Einlassventils (V2) angeordnet ist.
10. Fördervorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, wobei das Volumen (14) zwischen dem Einlassventil (V2)

und dem Versorgungsventil (V1) vorgesehen ist.

11. Fördervorrichtung nach einem der Ansprüche 8 - 10, wobei das Volumen (14) mit Hilfe einer oder mehrerer Rohrschleifen, einer Rohrleitung und/oder eines Speichervolumens gebildet ist.

### Claims

1. Method for supplying a consumer (3) with a cryogen (H2) from a storage tank (2), comprising the following steps:
- introducing (S1) part of the cryogen (H2) from the storage tank (2) into a volume (14) that can be closed off from the consumer (3) and from the storage tank (2),
  - closing off (S2) the volume (14) from the consumer (3) and from the storage tank (2) by first closing a supply valve (V1) arranged between the volume (14) and the consumer (3), and then closing an inlet valve (V2) arranged between the storage tank (2) and the volume (14),
  - vaporizing (S3) the cryogen (H2) in the volume (14) so as to subject the volume (14) to a pressure (p14) which is higher than a pressure (p2) prevailing in the storage tank (2), **characterized by**
  - discharging (S4) the vaporized cryogen (H2) from the volume (14) to the consumer (3) when the consumer (3) has a load requirement (L) by opening the supply valve (V1), wherein, when the supply valve (V1) is open, the inlet valve (V2) is opened as soon as the pressure (p14) in the volume (14) falls below the pressure (p2) prevailing in the storage tank (2).
2. Method according to claim 1, wherein during step d), the pressure (p14) prevailing in the volume (14) is reduced to a supply pressure suitable for the consumer (3) when the cryogen (H2) is discharged from the volume (14) using the supply valve (V1).
3. Method according to claim 2, wherein the supply pressure suitable for the consumer (3) is less than the pressure (p2) prevailing in the storage tank (2).
4. Method according to either claim 2 or claim 3, wherein during step d), the supply valve (V1) is opened depending on the load requirement (L) of the consumer (3).
5. Method according to any of claims 2 - 4, wherein during step d), the supply valve (V1) is controlled using an open-loop and closed-loop control device (13) based on sensor signals from a pressure sensor

- (19) arranged downstream of the supply valve (V1) and/or sensor signals from a flow sensor (21).
6. Method according to any of claims 1 - 5, wherein the inlet valve (V2) is closed as long as the pressure (p14) in the volume (14) is greater than the pressure (p2) prevailing in the storage tank (2).
7. Method according to any of claims 1-6, wherein during step c), heat (Q) is introduced into the cryogen (H2) using a vaporizer unit (11) in order to vaporize it.
8. Conveyor device (9) for supplying a consumer (3) with a cryogen (H2) from a storage tank (2), comprising an inlet valve (V2), which is arranged between the storage tank (2) and a volume (14) which can be closed off from the consumer (3) and from the storage tank (2), a supply valve (V1), which is arranged between the volume (14) and the consumer (3), a vaporizer unit (11), and an open-loop and closed-loop control device (13), wherein the open-loop and closed-loop control device (13) is designed to control the inlet valve (V2) in such a way that the inlet valve (V2) introduces a part of the cryogen (H2) from the storage tank (2) into the volume (14), wherein the open-loop and closed-loop control device (13) is designed to control the inlet valve (V2) and the supply valve (V1) in such a way that the inlet valve (V2) and the supply valve (V1) close off the volume (14) from the consumer (3) and from the storage tank (2), wherein the open-loop and closed-loop control device (13) is designed to first close the supply valve (V1) and then to close the inlet valve (V2), wherein the vaporizer unit (11) is designed to vaporize the cryogen (H2) accommodated in the closed-off volume (14) so as to subject the closed-off volume (14) to a pressure (p14) which is higher than a pressure (p2) prevailing in the storage tank (2), wherein the open-loop and closed-loop control device (13) is designed to control the supply valve (V1) in such a way that the supply valve discharges the vaporized cryogen (H2) from the closed-off volume (14) to the consumer (3) when the consumer (3) has a load requirement (L), and wherein the open-loop and closed-loop control device (13) is designed, when the supply valve (V1) is open, to open the inlet valve (V2) as soon as the pressure (p14) in the volume (14) falls below the pressure (p2) prevailing in the storage tank (2).
9. Conveying device according to claim 8, wherein the supply valve (V1) is arranged downstream of the inlet valve (V2).
10. Conveying device according to either claim 8 or claim 9, wherein the volume (14) is provided between the inlet valve (V2) and the supply valve (V1).

11. Conveying device according to any of claims 8 - 10, wherein the volume (14) is formed using one or more pipe loops, a pipeline, and/or a storage volume.

## Revendications

1. Procédé permettant d'alimenter un consommateur (3) en cryogène (H2) en provenance d'un réservoir de stockage (2), comportant les étapes suivantes :
- a) introduction (S1) d'une partie du cryogène (H2) en provenance du réservoir de stockage (2) dans un volume (14) pouvant être séparé du consommateur (3) et du réservoir de stockage (2),
  - b) séparation (S2) du volume (14) du consommateur (3) et du réservoir de stockage (2) en fermant d'abord une soupape d'alimentation (V1) disposée entre le volume (14) et le consommateur (3) et en fermant ensuite une soupape d'admission (V2) disposée entre le réservoir de stockage (2) et le volume (14),
  - c) évaporation (S3) du cryogène (H2) dans le volume (14), de sorte que le volume (14) est soumis à une pression (p14) qui est supérieure à une pression (p2) régnant dans le réservoir de stockage (2), **caractérisé par**
  - d) l'évacuation (S4) du cryogène (H2) évaporé hors du volume (14) vers le consommateur (3) lors d'une demande de charge (L) du consommateur (3) en ouvrant la soupape d'alimentation (V1), dans lequel la soupape d'admission (V2) est ouverte lorsque la soupape d'alimentation (V1) est ouverte, de sorte que la pression (p14) dans le volume (14) tombe en dessous de la pression (p2) régnant dans le réservoir de stockage (2).
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, pendant l'étape d), la pression (p14) régnant dans le volume (14) est réduite, lors de l'évacuation du cryogène (H2) hors du volume (14) à l'aide de la soupape d'alimentation (V1), à une pression d'alimentation appropriée pour le consommateur (3).
3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel la pression d'alimentation appropriée pour le consommateur (3) est inférieure à la pression (p2) régnant dans le réservoir de stockage (2).
4. Procédé selon la revendication 2 ou 3, dans lequel, pendant l'étape d), la soupape d'alimentation (V1) est ouverte en fonction de la demande de charge (L) du consommateur (3).
5. Procédé selon l'une des revendications 2 à 4, dans lequel, pendant l'étape d), la soupape d'alimentation

- (V1) est commandée à l'aide d'un appareil de commande et de régulation (13) sur la base de signaux de capteurs d'un capteur de pression (19) et/ou d'un capteur de débit (21) disposés en aval de la soupape d'alimentation (V1).
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel la soupape d'admission (V2) est fermée tant que la pression (p14) dans le volume (14) est supérieure à la pression (p2) régnant dans le réservoir de stockage (2). 10
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel, pendant l'étape c), de la chaleur (Q) est introduite dans le cryogène (H2) à l'aide d'une unité d'évaporation (11) afin de l'évaporer. 15
8. Dispositif de transport (9) permettant d'alimenter un consommateur (3) en cryogène (H2) en provenance d'un réservoir de stockage (2), comportant une soupape d'admission (V2) qui est disposée entre le réservoir de stockage (2) et un volume (14) pouvant être séparé du consommateur (3) et du réservoir de stockage (2), une soupape d'alimentation (V1) qui est disposée entre le volume (14) et le consommateur (3), une unité d'évaporation (11), et un appareil de commande et de régulation (13), dans lequel l'appareil de commande et de régulation (13) est configuré pour commander la soupape d'admission (V2) de telle sorte que la soupape d'admission (V2) introduit une partie du cryogène (H2) en provenance du réservoir de stockage (2) dans le volume (14), dans lequel l'appareil de commande et de régulation (13) est configuré pour commander la soupape d'admission (V2) et la soupape d'alimentation (V1) de telle sorte que la soupape d'admission (V2) et la soupape d'alimentation (V1) séparent le volume (14) du consommateur (3) et du réservoir de stockage (2), dans lequel l'appareil de commande et de régulation (13) est configuré pour fermer d'abord la soupape d'alimentation (V1) et ensuite la soupape d'admission (V2), dans lequel l'unité d'évaporation (11) est conçue pour évaporer le cryogène (H2) contenu dans le volume (14) séparé afin de soumettre le volume (14) séparé à une pression (p14) qui est supérieure à une pression (p2) régnant dans le réservoir de stockage (2), dans lequel l'appareil de commande et de régulation (13) est configuré pour commander la soupape d'alimentation (V1) de telle sorte que la soupape d'alimentation (V1) évacue le cryogène (H2) évaporé hors du volume (14) séparé vers le consommateur (3) lors d'une demande de charge du consommateur (3), et dans lequel l'appareil de commande et de régulation (13) est conçu pour ouvrir la soupape d'admission (V2) lorsque la soupape d'alimentation (V1) est ouverte dès que la pression (p14) dans le volume (14) tombe en dessous de la pression (p2) régnant dans le réservoir de 20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55
- stockage (2).
9. Dispositif de transport selon la revendication 8, dans lequel la soupape d'alimentation (V1) est disposée en aval de la soupape d'admission (V2). 5
10. Dispositif de transport selon la revendication 8 ou 9, dans lequel le volume (14) est prévu entre la soupape d'admission (V2) et la soupape d'alimentation (V1). 10
11. Dispositif de transport selon l'une des revendications 8 à 10, dans lequel le volume (14) est formé à l'aide d'une ou de plusieurs boucles tubulaires, d'une conduite tubulaire et/ou d'un volume de stockage. 15



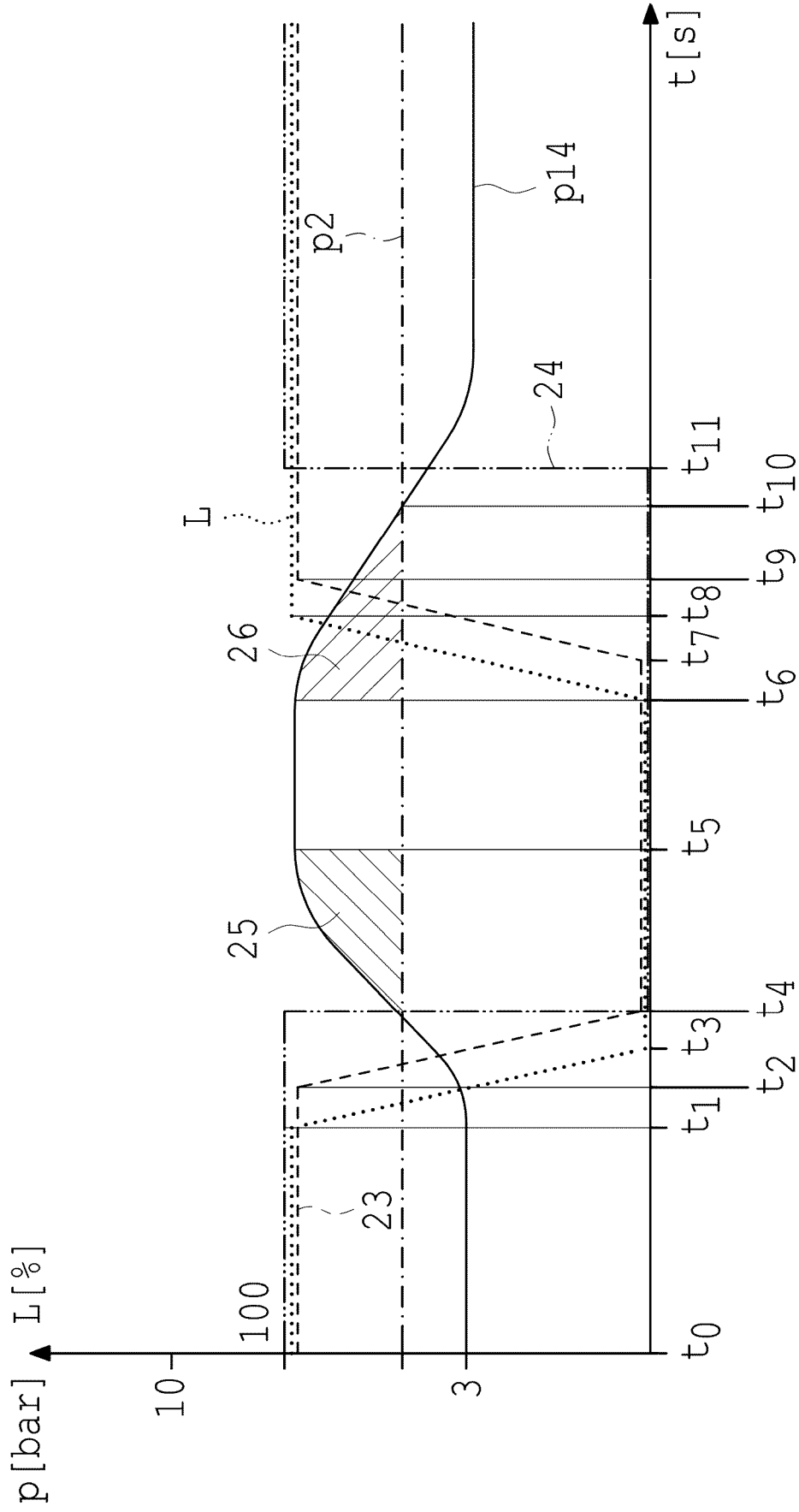


Fig. 2

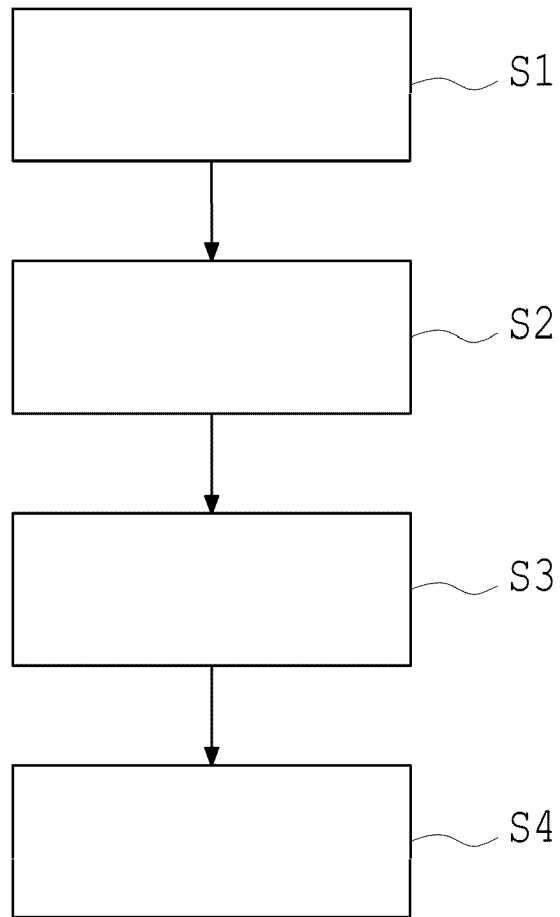


Fig. 3

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- US 2014076290 A1 [0003]
- WO 2014076290 A1 [0004]