



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 217 348.3**

(51) Int Cl.: **F17C 7/00 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: **28.09.2017**

(43) Offenlegungstag: **28.03.2019**

(71) Anmelder:
**Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft,
80809 München, DE**

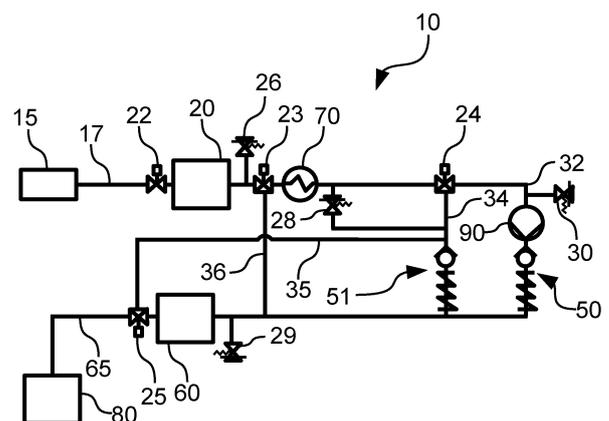
(72) Erfinder:
**Kunberger, Jan-Mark, 81241 München, DE;
Movsisyan, Georg, 80992 München, DE**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Druckbehältersystem und Verfahren zum Zuführen von Brennstoff aus einem Druckbehältersystem**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Druckbehältersystem (10) für ein Fahrzeug aufgezeigt, wobei das Druckbehältersystem (10) - mindestens einen kryogenen Druckbehälter zum Speichern von Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, und - mindestens einen Hochdruckgasbehälter (60) zum Speichern von Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, umfasst, wobei ein Einlass des kryogenen Druckbehälters (20) über eine Verbindungsleitung (17) mit einer Befüllöffnung (15) zum Befüllen des kryogenen Druckbehälters (20) fluidverbunden ist, wobei ein Auslass des Hochdruckgasbehälters (60) über eine Verbindungsleitung (65) mit einem Brennstoffverbraucher (80), insbesondere einer Brennstoffzelle, fluidverbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass in einer ersten absperrbaren Verbindungsleitung (32) zwischen dem Auslass des kryogenen Druckbehälters (20) und einem Einlass des Hochdruckgasbehälters (60) ein Verdichter zum Komprimieren des Brennstoffs aus dem kryogenen Druckbehälter (20) angeordnet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Druckbehältersystem für ein Fahrzeug und ein Verfahren zum Zuführen von Brennstoff aus einem Druckbehältersystem zu einem Brennstoffverbraucher.

[0002] In Fahrzeugen, die mit Wasserstoff bzw. einer Brennstoffzelle angetrieben werden, ist in der Regel ein Druckbehältersystem angeordnet. Das Druckbehältersystem umfasst oftmals einen kryogenen Druckbehälter, in dem Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, hauptsächlich gespeichert wird. Druckbehältersysteme umfassen oftmals einen kryogenen Druckbehälter und einen nicht-kryogenen Druckbehälter bzw. Hochdruckgasbehälter.

[0003] Wenn der Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter zu niedrig ist, wird der Brennstoff in dem kryogenen Druckbehälter oftmals erwärmt, z.B. mittels eines Tankwärmetauschers, um den Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter zu erhöhen.

[0004] Nachteilig an bisher bekannten Druckbehältersystemen ist, dass ausgehend von einem umgebungswarmen leeren kryogenen Druckbehälter die maximal mögliche Speicherdichte an Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, in dem kryogenen Druckbehälter nicht bei der ersten Befüllung erreicht werden kann, sondern erst z.B. nach der vierten Befüllung mit Brennstoff. Dies ist darin begründet, dass erst dann eine niedrige Temperatur bzw. die niedrigste Temperatur in dem kryogenen Druckbehälter erreicht wird. Somit kann die maximal mögliche Speichermasse bzw. die maximal mögliche Speicherdichte an Brennstoff in dem kryogenen Druckbehälter nur dann erreicht werden, wenn der kryogene Druckbehälter vor dem Befüllen kalt genug ist. Nachteilig ist hieran auch, dass zwischen den Befüllungen des Druckbehältersystems der Druckbehälter nicht warmgefahren bzw. durch einen Tankwärmetauscher erwärmt, also komplett leer gefahren werden darf, da ansonsten die maximale Speicherdichte bei der nächsten Befüllung sinkt.

[0005] Zudem ist nachteilig, dass zur im Wesentlichen vollständigen Brennstoffentnahme aus dem kryogenen Druckbehälter der kryogene Druckbehälter erwärmt werden muss, da ansonsten der Druck des Brennstoffs in dem Druckbehälter zum Zuführen des Brennstoffs zu einem Brennstoffverbraucher (z.B. einer Brennstoffzelle zum Antreiben des Fahrzeugs) bzw. zu einem Hochdruckregler vor dem Brennstoffverbraucher zu niedrig ist bzw. unterhalb eines Grenzwerts liegt, wenn bereits ein (Groß)Teil des Brennstoffs aus dem kryogenen Druckbehälter entnommen wurde. Ein Hochdruckregler, der zwischen dem Druckbehälter und dem Brennstoffver-

braucher angeordnet ist, regelt z.B. auf einen Mittel-
druck von ca. 15 bar.

[0006] Durch Erwärmung kann der Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter erhöht werden. Eine Erwärmung des kryogenen Druckbehälters zum Entnehmen des in dem kryogenen Druckbehälter verbleibenden Brennstoffs führt jedoch wiederum dazu, dass bei der nächsten Befüllung aufgrund der erhöhten Temperatur nicht die maximale Brennstoffdichte in dem Druckbehälter erreicht wird. D.h. die Menge an in dem kryogenen Druckbehälter speicherbaren Brennstoff sinkt durch das Erwärmen zum Entnehmen des Brennstoffs. Hierdurch wird somit nicht die maximale Reichweite des Fahrzeugs beim Wiederbefüllen des Druckbehältersystems bzw. des kryogenen Druckbehälters erreicht.

[0007] Hochdruckgasbehälter bzw. Hochdruckgasbehältersysteme (auch „CGH₂-Systeme“ genannt) sind ausgebildet, bei Umgebungstemperaturen Brennstoff dauerhaft bei einem Druck von über ca. 350 barü (= Überdruck gegenüber dem Atmosphärendruck), ferner bevorzugt von über ca. 500 barü und besonders bevorzugt von über ca. 700 barü zu speichern.

[0008] Kryogene Druckbehältersysteme (auch „CcH₂-Systeme“ genannt) sind aus dem Stand der Technik bekannt. Beispielsweise offenbart die EP 1 546 601 B1 ein solches System.

[0009] Es ist eine bevorzugte Aufgabe der hier offenbarten Technologie, zumindest einige Nachteile der vorbekannten Lösungen zu verringern oder zu beheben. Weitere bevorzugte Aufgaben können sich aus den vorteilhaften Effekten der hier offenbarten Technologie ergeben. Die Aufgabe(n) wird/werden gelöst durch den Gegenstand des Patentanspruchs 1 der unabhängigen Patentansprüche und den Gegenstand des Patentanspruchs 8 der unabhängigen Ansprüche. Die abhängigen Ansprüche stellen bevorzugte Ausgestaltungen dar.

[0010] Insbesondere wird die Aufgabe durch ein Druckbehältersystem für ein Fahrzeug gelöst, wobei das Druckbehältersystem - mindestens einen kryogenen Druckbehälter zum Speichern von Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, und - mindestens einen Hochdruckgasbehälter zum Speichern von Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, umfasst, wobei ein Einlass des kryogenen Druckbehälters über eine Verbindungsleitung mit einer Befüllöffnung zum Befüllen des kryogenen Druckbehälters fluidverbunden ist, wobei ein Auslass des Hochdruckgasbehälters über eine Verbindungsleitung mit einem Brennstoffverbraucher, insbesondere einer Brennstoffzelle, fluidverbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass in einer ersten absperrbaren Verbindungsleitung zwischen dem Auslass des kryogenen Druckbehälters und ei-

nem Einlass des Hochdruckgasbehälters ein Verdichter zum Komprimieren des Brennstoffs aus dem kryogenen Druckbehälter angeordnet ist.

[0011] Ein Vorteil hiervon ist, dass der Brennstoff dem kryogenen Druckbehälter im Wesentlichen vollständig ohne (gezielte) Erwärmung des kryogenen Druckbehälters entnehmbar ist. Eine sehr geringe Menge an Brennstoff kann bei maximaler Entnahme in dem kryogenen Druckbehälter verbleiben. Da der kryogene Druckbehälter nicht aktiv erwärmt werden muss, weist der kryogene Druckbehälter beim Wiederbefüllen des Druckbehältersystems mit Brennstoff eine niedrige Temperatur auf, so dass die maximale Brennstoffdichte oder zumindest eine sehr hohe Brennstoffdichte in dem kryogenen Druckbehälter erreichbar ist. Dadurch, dass der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter über einen Verdichter entnehmbar und dem Hochdruckgasbehälter (und schließlich dem Brennstoffverbraucher) zuführbar ist und somit einen geringen Druck aufweisen kann, kann dem kryogenen Druckbehälter auch dann Brennstoff entnommen und dem Hochdruckgasbehälter (und schließlich dem Brennstoffverbraucher) zugeführt werden, wenn der Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter gering ist bzw. geringer als der Druck in dem Hochdruckgasbehälter bzw. geringer als der von dem Brennstoffverbraucher bzw. einem Druckregler, der zwischen dem Hochdruckgasbehälter und dem Brennstoffverbraucher angeordnet ist, benötigte Druck ist. Hierdurch wird die Reichweite des Fahrzeugs, in dem das Druckbehältersystem eingebaut ist bzw. werden kann, erhöht. Darüber hinaus steht somit nach jeder vollständigen Befüllung die maximale Reichweite oder zumindest eine sehr hohe Reichweite des Fahrzeugs unabhängig von der vorhergehenden Nutzung/Befüllung bereit. Darüber hinaus kann der Brennstoff in dem Hochdruckgasbehälter durch die Umgebung vorgewärmt werden. Dem Brennstoffverbraucher bzw. einem Druckregler, der zwischen dem Hochdruckgasbehälter und dem Brennstoffverbraucher angeordnet ist, kann somit stets Brennstoff mit einem ausreichend hohen Druck und genügend hoher Temperatur zugeführt werden bzw. bereitgestellt werden. Zudem wird kein Tankwärmetauscher zum Erwärmen des kryogenen Druckbehälters bzw. des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter benötigt, wodurch die Herstellungskosten und die Komplexität des Druckbehältersystems verringert sind.

[0012] Der kryogene Druckbehälter kann z.B. Brennstoff bei einem max. Betriebsdruck/maximum operating pressure/MOP von 300 barü und einer Temperatur von 40 K speichern. Der Hochdruckgasbehälter kann z.B. Brennstoff bei einem max. Betriebsdruck/maximum operating pressure/MOP von 700 barü und einer Temperatur von 300 K speichern.

[0013] Insbesondere wird die Aufgabe auch durch ein Verfahren zum Zuführen von Brennstoff aus einem in einem Fahrzeug angeordneten Druckbehältersystem zu einem Brennstoffverbraucher, insbesondere einer Brennstoffzelle, gelöst, wobei das Druckbehältersystem - mindestens einen kryogenen Druckbehälter zum Speichern von Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, und - mindestens einen Hochdruckgasbehälter zum Speichern von Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, umfasst, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst: - wenn eine Dichte des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter niedriger als ein Grenzdichtewert ist und ein Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter niedriger als ein Grenzdruckwert ist: Verdichten des Brennstoffs aus dem kryogenen Druckbehälter mittels eines Verdichters und Strömen lassen des verdichteten Brennstoffs in den Hochdruckgasbehälter; - wenn eine Dichte des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter niedriger als ein Grenzdichtewert ist und ein Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter gleich oder höher als ein Grenzdruckwert ist: Strömen lassen von Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter in den Hochdruckgasbehälter, ohne den Brennstoff zu verdichten; und - Zuführen von Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter und/oder aus dem Hochdruckgasbehälter zu dem Brennstoffverbraucher.

[0014] Vorteilhaft an diesem Verfahren ist, dass der Brennstoff dem kryogenen Druckbehälter im Wesentlichen vollständig ohne Erwärmung des kryogenen Druckbehälters entnehmbar ist. Eine sehr geringe Menge an Brennstoff kann bei maximaler Entnahme in dem kryogenen Druckbehälter verbleiben. Da der kryogene Druckbehälter bei dem Verfahren nicht aktiv erwärmt wird, weist der kryogene Druckbehälter beim Wiederbefüllen des Druckbehältersystems mit Brennstoff eine niedrige Temperatur auf, so dass die maximale Brennstoffdichte oder zumindest eine sehr hohe Brennstoffdichte in dem kryogenen Druckbehälter erreicht wird. Dadurch, dass der Brennstoff in dem kryogenen Druckbehälter über einen Verdichter entnommen wird und somit einen geringen Druck aufweisen kann, kann der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter auch dann entnommen und dem Hochdruckgasbehälter (und schließlich dem Brennstoffverbraucher) zugeführt werden, wenn der Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter gering ist bzw. kleiner als der Druck in dem Hochdruckgasbehälter bzw. geringer als der von dem Brennstoffverbraucher bzw. einem Druckregler, der zwischen dem Hochdruckgasbehälter und dem Brennstoffverbraucher angeordnet ist, benötigte Druck ist. Hierdurch wird die Reichweite des Fahrzeugs erhöht. Darüber hinaus steht somit nach jeder vollständigen Befüllung die maximale Reichweite oder zumindest eine sehr hohe Reichweite des Fahrzeugs bereit. Dem Brennstoffverbraucher bzw. einem Druckregler, der zwischen dem zweiten Hochdruckgasbe-

hälter und dem Brennstoffverbraucher angeordnet ist, kann somit stets Brennstoff mit einem ausreichend hohen Druck und genügend hoher Temperatur zugeführt werden bzw. bereitgestellt werden. Zudem wird für das Verfahren kein Tankwärmetauscher zum Erwärmen des kryogenen Druckbehälters bzw. des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter benötigt, wodurch ein Druckbehältersystem mit geringen Herstellungskosten und geringer Komplexität verwendet werden kann. Es ist insbesondere möglich, dass das Strömen lassen von Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter in den Hochdruckgasbehälter, ohne den Brennstoff zu verdichten, erst bei Erfüllen der zusätzlichen Bedingung, dass der Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter höher als der Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter ist, ausgeführt wird.

[0015] Auch ist es möglich, dass neben der Bedingung „wenn eine Dichte des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter niedriger als ein Grenzdichtewert ist und ein Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter gleich oder höher als ein Grenzdichtewert ist“ noch eine oder mehrere weitere Bedingungen erfüllt sein müssen, damit der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter in den Hochdruckgasbehälter strömen gelassen wird, ohne den Brennstoff zu verdichten. Eine weitere Bedingung kann z.B. sein, dass der Druck und/oder die Dichte des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter unter einen Minimalwert sinkt. Ebenso ist es möglich, dass neben der Bedingung „wenn eine Dichte des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter niedriger als ein Grenzdichtewert ist und ein Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter niedriger als ein Grenzdichtewert ist“ noch eine oder mehrere weitere Bedingungen erfüllt sein müssen, damit der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter verdichtet wird und der verdichtete Brennstoff in den Hochdruckgasbehälter strömen gelassen wird. Eine weitere Bedingung kann z.B. sein, dass der Druck und/oder die Dichte des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter unter einen Minimalwert sinkt. Zudem ist es möglich, dass auch dann Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter (ohne von dem Verdichter verdichtet zu werden oder unter Verdichtung durch den Verdichter) in den Hochdruckgasbehälter strömen gelassen wird, wenn die Dichte des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter oberhalb des Grenzdichtewerts liegt (jedoch z.B. der Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter unterhalb des Grenzdichtewerts liegt). Auch wenn die Bedingung „wenn eine Dichte des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter niedriger als ein Grenzdichtewert ist und ein Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter niedriger als ein Grenzdichtewert ist“ erfüllt ist, kann Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter in den Hochdruckgasbehälter strömen gelassen werden, wenn z.B. der Druck des Brennstoffs in dem

kryogenen Druckbehälter größer ist als der Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter.

[0016] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Druckbehältersystem ferner eine zweite absperrbare Verbindungsleitung zwischen dem Auslass des kryogenen Druckbehälters und dem Einlass des Hochdruckgasbehälters, wobei in der zweiten absperrbaren Verbindungsleitung kein Verdichter angeordnet ist. Ein Vorteil hiervon ist, dass Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter in den Hochdruckgasbehälter strömen kann, wenn der Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter höher als in dem Hochdruckgasbehälter ist, ohne verdichtet zu werden. Somit kann Energie gespart werden, da der Verdichter nicht ständig betrieben werden muss. Der Brennstoff kann vorkonditioniert bzw. erwärmt werden, bevor der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter dem Hochdruckgasbehälter zugeführt wird.

[0017] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Druckbehältersystem ferner eine absperrbare dritte Verbindungsleitung, wobei die dritte Verbindungsleitung aus der zweiten Verbindungsleitung abzweigt und die zweite Verbindungsleitung unter Umgehung des Hochdruckgasbehälters mit dem Brennstoffverbraucher fluidverbindet. Vorteilhaft hieran ist, dass der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter dem Brennstoffverbraucher direkt zuführbar ist. Folglich kann Brennstoff dem Hochdruckgasbehälter zugeführt und/oder in dem Hochdruckgasbehälter durch die Umgebung erwärmt werden, während gleichzeitig Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter dem Brennstoffverbraucher zugeführt wird. Der Brennstoff kann vor dem Zuführen des Brennstoffs zu dem Brennstoffverbraucher vorkonditioniert bzw. erwärmt werden.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Druckbehältersystem ferner einen Wärmetauscher zum Erwärmen des Brennstoffs, wobei der Wärmetauscher zwischen dem kryogenen Druckbehälter und dem Verdichter angeordnet ist. Ein Vorteil hiervon ist, dass der Verdichter technisch einfach ausgebildet und kostengünstig sein kann, da der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter erwärmt wird, bevor der Brennstoff in den Verdichter gelangt. Dies senkt somit die Herstellungskosten und die Komplexität des Druckbehältersystems.

[0019] Gemäß einer Ausführungsform ist der Wärmetauscher derart angeordnet, dass der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter durch den Wärmetauscher strömen muss, bevor der Brennstoff in die zweite Verbindungsleitung gelangen kann. Vorteilhaft hieran ist, dass die zweite Verbindungsleitung nicht für kryogenen Brennstoff bzw. die entsprechenden Temperaturen ausgelegt sein muss. Dies senkt die Herstellungskosten und die Komplexität des Druckbehältersystems. Zudem ist auf diese Weise si-

chergestellt, dass nur durch den Wärmetauscher erwärmter Brennstoff (und kein nicht durch den Wärmetauscher erwärmter Brennstoff) über die zweite Verbindungsleitung aus dem kryogenen Druckbehälter in den Hochdruckgasbehälter gelangt.

[0020] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Druckbehältersystem ferner eine vierte absperrbare Verbindungsleitung, wobei die vierte Verbindungsleitung den Auslass des kryogenen Druckbehälter mit dem Einlass des Hochdruckgasbehälters unter Umgehung des Wärmetauschers, insbesondere unter Umgehung des Verdichters, fluidverbindet. Hierdurch kann beim Befüllen des Druckbehältersystems mit Brennstoff der Brennstoff zum Abkühlen des kryogenen Druckbehälters verwendet (indem der Brennstoff durch den kryogenen Druckbehälter strömt) und nach dem Durchströmen des kryogenen Druckbehälters in dem Hochdruckgasbehälter bei einer tiefen Temperatur gespeichert werden. Vorteilhaft hieran ist, dass die maximale Speicherdichte an Brennstoff in dem kryogenen Druckbehälter erhöht wird (da der kryogene Druckbehälter durch den durchströmenden Brennstoff abgekühlt wird). Zudem kann mehr Brennstoff in dem Hochdruckgasbehälter gespeichert werden.

[0021] Gemäß einer Ausführungsform ist der Wärmetauscher derart angeordnet, dass der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter nicht durch den Wärmetauscher strömen muss, bevor der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter in die zweite Verbindungsleitung strömen kann. Vorteilhaft hieran ist, dass eine Verbindungsleitung (z.B. die vierte Verbindungsleitung), die den kryogenen Druckbehälter mit dem Hochdruckgasbehälter fluidverbindet, eingespart bzw. weggelassen werden kann. Beim Befüllen des Druckbehältersystems kann der Hochdruckgasbehälter mit kaltem Brennstoff, der zum Abkühlen des kryogenen Druckbehälters durch den kryogenen Druckbehälter geführt wurde, durch die zweite Verbindungsleitung befüllt werden. Somit sinkt die Anzahl an Verbindungsleitungen. Dies senkt die Herstellungskosten des Druckbehältersystems.

[0022] Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens wird der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter vor dem Zuführen des Brennstoffs zu dem Verdichter mittels eines Wärmetauschers erwärmt. Ein Vorteil hiervon ist, dass das Verfahren auch mit einem technisch einfachen Druckbehältersystem ausgeführt werden kann. Der Verdichter muss nicht zum Verdichten von kryogenem Brennstoff ausgelegt sein, sondern es ist ausreichend, wenn der Verdichter zum Verdichten von nicht-kryogenem Brennstoff ausgelegt ist. Folglich kann ein kostengünstiges und technisch einfaches Druckbehältersystem verwendet werden.

[0023] Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens wird der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter durch eine zweite und/oder vierte Verbindungsleitung unter Umgehung des Wärmetauschers in den Hochdruckgasbehälter strömen gelassen. Vorteilhaft hieran ist, dass Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter, ohne diesen aktiv zu erwärmen, in den Hochdruckgasbehälter strömen kann. Somit kann kalter Brennstoff dem Hochdruckgasbehälter zugeführt werden. Darüber hinaus kann beim Befüllen des Druckbehältersystems mit Brennstoff der Brennstoff zum Abkühlen des kryogenen Druckbehälters verwendet und nach dem Durchströmen des kryogenen Druckbehälters in dem Hochdruckgasbehälter bei einer tiefen Temperatur gespeichert wird. Somit wird die maximale Speicherdichte an Brennstoff in dem kryogenen Druckbehälter erhöht. Zudem kann mehr Brennstoff in dem Hochdruckgasbehälter gespeichert werden. Darüber hinaus kann der Hochdruckgasbehälter besonders schnell kryogen betankt werden, da die Dichte des Massenstroms des kryogenen Brennstoffs höher ist als die Dichte des Massenstroms eines lediglich durch Vorkühlung gekühlten Brennstoffs bei einer „warmen“, d.h. nicht-kryogenen, Befüllung bzw. Betankung des Hochdruckgasbehälters.

[0024] Die hier offenbarte Technologie betrifft ein Druckbehältersystem (en: Compressed hydrogen storage system (=CHS-System)) zur Speicherung von unter Umgebungsbedingungen gasförmigen Brennstoff. Ein solcher Druckbehälter ist insbesondere ein in ein Kraftfahrzeug eingebauter bzw. einbaubarer Druckbehälter. Der Druckbehälter kann in einem Kraftfahrzeug eingesetzt werden, das beispielsweise mit komprimiertem („Compressed Natural Gas“ = CNG) oder verflüssigtem (LNG) Erdgas oder mit Wasserstoff betrieben wird. Ein solcher Druckbehälter kann beispielsweise ein kryogener Druckbehälter (=CCH₂-System) oder ein Hochdruckgasbehälter (=CGH₂-System) sein.

[0025] Hochdruckgasbehältersysteme (= CGH₂-Systeme) bzw. Hochdruckgasbehälter sind ausgebildet, im Wesentlichen bei Umgebungstemperaturen Brennstoff (z.B. Wasserstoff) dauerhaft bei einem max. Betriebsdruck (auch maximum operating pressure oder MOP genannt) von über ca. 350 barü (= Überdruck gegenüber dem Atmosphärendruck), ferner bevorzugt von über ca. 500 barü und besonders bevorzugt von über ca. 700 barü zu speichern.

[0026] Das Druckbehältersystem umfasst einen kryogenen Druckbehälter (= CCH₂-Druckbehälter). Der kryogene Druckbehälter kann Brennstoff im flüssigen oder überkritischen Aggregatzustand speichern. Als überkritischer Aggregatzustand wird ein thermodynamischer Zustand eines Stoffes bezeichnet, der eine höhere Temperatur und einen höheren Druck als der kritische Punkt aufweist. Der kriti-

sche Punkt bezeichnet den thermodynamischen Zustand, bei dem die Dichten von Gas und Flüssigkeit des Stoffes zusammenfallen, dieser also einphasig vorliegt. Während das eine Ende der Dampfdruckkurve in einem p-T-Diagramm durch den Tripelpunkt gekennzeichnet ist, stellt der kritische Punkt das andere Ende dar. Bei Wasserstoff liegt der kritische Punkt bei 33,18 K und 13,0 bar. Ein kryogener Druckbehälter ist insbesondere geeignet, den Brennstoff bei Temperaturen zu speichern, die deutlich unter der Betriebstemperatur (gemeint ist der Temperaturbereich der Fahrzeugumgebung, in dem das Fahrzeug betrieben werden soll) des Kraftfahrzeuges liegen, beispielsweise mind. 50 Kelvin, bevorzugt mindestens 100 Kelvin bzw. mindestens 150 Kelvin unterhalb der Betriebstemperatur des Kraftfahrzeuges (i.d.R. ca. -40°C bis ca. +85°C). Der Brennstoff kann beispielsweise Wasserstoff sein, der bei Temperaturen von ca. 34 K bis 360 K im kryogenen Druckbehälter gespeichert wird. Der kryogene Druckbehälter kann insbesondere einen Innenbehälter umfassen, der ausgelegt ist für max. Betriebsdrücke (auch maximum operating pressure oder MOP genannt) bis ca. 350 barü (= Überdruck gegenüber dem Atmosphärendruck), bevorzugt bis ca. 500 barü, und besonders bevorzugt bis ca. 700 barü. Im Innenbehälter ist der Brennstoff gespeichert. Der Außenbehälter schließt den Druckbehälter bevorzugt nach außen hin ab. Bevorzugt umfasst der kryogene Druckbehälter ein Vakuum mit einem Absolutdruck im Bereich von 10^{-9} mbar bis 10^{-1} mbar, ferner bevorzugt von 10^{-7} mbar bis 10^{-3} mbar und besonders bevorzugt von ca. 10^{-5} mbar, dass zumindest bereichsweise zwischen dem Innenbehälter und dem Außenbehälter in einem evakuierten (Zwischen)Raum bzw. Vakuum V angeordnet ist. Die Speicherung bei Temperaturen (knapp) oberhalb des kritischen Punktes hat gegenüber der Speicherung bei Temperaturen unterhalb des kritischen Punktes den Vorteil, dass das Speichermedium einphasig vorliegt. Es gibt also beispielsweise keine Grenzfläche zwischen flüssig und gasförmig.

[0027] Der Brennstoff kann insbesondere ein Brennstoff sein, der bei Normalbedingungen (Druck von 1, 01325 bar und Temperatur von 0 °C) gasförmig ist.

[0028] Der Grenzdruckwert kann ein vorgegebener Druckwert sein, bei dessen Unterschreiten ein direktes Zuführen von Brennstoff aus dem Hochdruckgasbehälter zu dem Druckregler bzw. Brennstoffverbraucher nicht mehr möglich ist bzw. nur mit einer sehr geringen Effizienz oder unter Leistungsverringerung möglich ist. Der Grenzdruckwert kann z.B. 50 barü, ferner bevorzugt 20 barü und besonders bevorzugt 5 barü betragen. Der Grenzdruckwert kann der Mindestbetriebsdruck eines Druckreglers sein, der zwischen dem zweiten Hochdruckgasbehälter und dem Brennstoffverbraucher angeordnet ist.

[0029] Der Grenzdichtewert kann ein minimaler Dichtewert des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter und/oder in dem Hochdruckgasbehälter sein, der (um sicherheitskritische Situationen zu verhindern) nicht unterschritten werden darf bzw. kann. Der Grenzdichtewert kann z.B. 4 g/l, ferner bevorzugt 1,5 g/l und besonders bevorzugt 0,8 g/l betragen.

[0030] Der Hochdruckgasbehälter kann insbesondere ein Druckbehälter sein, der zum Speichern von nicht-kryogenem Brennstoff bzw. von gasförmigem Brennstoff ausgebildet sind. Der kryogene Druckbehälter kann insbesondere zum Speichern von kryogenem und/oder gasförmigen Brennstoff ausgebildet sein. Insbesondere kann sich der Hochdruckgasbehälter von dem kryogenen Druckbehälter dadurch unterscheiden, dass der kryogene Druckbehälter stark wärmeisoliert ist, um den kryogenen Brennstoff in dem kryogenen Druckbehälter möglichst lange kryogen bei niedrigen Temperaturen (gegenüber der Betriebstemperatur des Fahrzeugs) zu speichern. Der Hochdruckgasbehälter kann insbesondere keine oder nur eine geringe Wärmeisolation aufweisen, so dass der Brennstoff in dem Hochdruckgasbehälter durch die Umgebung bzw. das Fahrzeug bzw. die Abwärme des Fahrzeugs erwärmt wird. Hierfür kann ein Wärmetauscher verwendet werden.

[0031] Der Hochdruckgasbehälter kann ein Druckbehälter vom Typ III sein. Druckbehälter vom Typ III können aus zwei Komponenten bestehen: einem Innenliner aus Metall (z.B. Stahl oder Aluminium) und einem Kohlefaserverbundmaterial, das den Innenliner umgibt und hauptsächlich für die Druckfestigkeit sorgt.

[0032] Die hier offenbarte Technologie wird nun anhand von Figuren erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Ansicht einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Druckbehältersystems;

Fig. 2 eine schematische Ansicht einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Druckbehältersystems; und

Fig. 3 eine schematische Ansicht einer dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Druckbehältersystems.

[0033] Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Druckbehältersystems **10**. Das Druckbehältersystem **10** umfasst zwei Druckbehälter: einen kryogenen Druckbehälter **20**, einen Hochdruckgasbehälter **60**. Der Hochdruckgasbehälter **60** kann insbesondere ein nicht-kryogener Druckbehälter sein. Die kryogene Druckbehälter **20** und der Hochdruckgasbehälter **60** sind jeweils zum Speichern von Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, ausgebildet.

[0034] Das Druckbehältersystem **10** kann neben dem kryogenen Druckbehälter **20** und dem Hochdruckgasbehälter **60** noch weitere Druckbehälter **20** aufweisen, z.B. einen oder mehrere kryogenen Druckbehälter **20** und einen oder mehrere Hochdruckgasbehälter **60**.

[0035] Der kryogene Druckbehälter **20** bzw. ein Einlass des kryogenen Druckbehälters **20** ist über eine Verbindungsleitung **17** mit einer Befüllöffnung/Tankkupplung **15** verbunden. Die Befüllöffnung/Tankkupplung **15** kann mit einer Befüllquelle, z.B. einer Brennstofftankstelle, verbunden werden. Der Brennstoff gelangt über die Befüllöffnung/Tankkupplung **15** in den kryogenen Druckbehälter **20** und wird darin gespeichert. Ein Einlassventil **22** bzw. Absperrventil (z.B. ein Rückschlagventil) ist in der Verbindungsleitung **17** zwischen dem kryogenen Druckbehälter **20** und der Befüllöffnung/Tankkupplung **15** angeordnet.

[0036] Der Auslass des kryogenen Druckbehälters **20** ist mit einem ersten Dreiwegeventil **23** fluidverbunden. Zwischen dem Auslass des kryogenen Druckbehälters **20** und dem ersten Dreiwegeventil **23** ist ein erstes Druckentlastungsventil **26** angeordnet. Das erste Druckentlastungsventil **26** gibt Brennstoff an die Umgebung und/oder an ein Blow-Off-Management-System ab, wenn der Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter **20** über den Maximalwert steigt.

[0037] Das erste Dreiwegeventil **23** ist mit dem Auslass des kryogenen Druckbehälters **20**, einem Wärmetauscher **70** zum Erwärmen des Brennstoffs und einer vierten Verbindungsleitung **36** fluidverbunden. Das erste Dreiwegeventil **23** kann Brennstoff von dem kryogenen Druckbehälter **20** dem Wärmetauscher **70** und/oder der vierten Verbindungsleitung **36** zuführen. Auch ist das erste Dreiwegeventil **23** ausgebildet, einen oder beide Strömungswege zu sperren.

[0038] Der Wärmetauscher **70** dient zum Erwärmen des Brennstoffs mittels eines Wärmemediums (sogenanntes Vorkonditionieren). Die vierte Verbindungsleitung **36** fluidverbindet den Auslass des kryogenen Druckbehälters **20** mit einem Einlass des Hochdruckgasbehälters **60**. Somit kann unter Umgehung des Wärmetauschers **70** und des Verdichters **90** Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter **20** in den Hochdruckgasbehälter **60**, z.B. während der Befüllung des Druckbehältersystems **10**, strömen.

[0039] Strömungstechnisch vom ersten Dreiwegeventil **23** aus gesehen hinter dem Wärmetauscher **70** ist ein zweites Dreiwegeventil **24** angeordnet. Das zweite Dreiwegeventil **24** ist mit dem Wärmetauscher **70**, einer ersten Verbindungsleitung **32** und einer zweiten Verbindungsleitung **34** fluidverbunden. Das zweite Dreiwegeventil **24** kann den Brennstoff von

dem Wärmetauscher **70** in die erste Verbindungsleitung **32** und/oder in die zweite Verbindungsleitung **34** strömen lassen. Auch ist das zweite Dreiwegeventil **24** ausgebildet, einen oder beide Strömungswege zu sperren.

[0040] Der Wärmetauscher **70** kann einen Luftwärmetauscher, einen Flüssigkeitswärmetauscher und/oder einen Kondensator umfassen oder sein.

[0041] Die erste Verbindungsleitung **32** fluidverbindet den Wärmetauscher **70** über das zweite Dreiwegeventil **24** mit dem Einlass des Hochdruckgasbehälters **60**. Die zweite Verbindungsleitung **34** fluidverbindet ebenfalls den Wärmetauscher **70** über das zweite Dreiwegeventil **24** mit dem Einlass des Hochdruckgasbehälters **60**. In der ersten Verbindungsleitung **32** ist ein Verdichter **90** zum Verdichten des Brennstoffs (aus dem kryogenen Druckbehälter **20**) angeordnet. In der zweiten Verbindungsleitung **34** ist kein Verdichter **90** angeordnet.

[0042] In der ersten Verbindungsleitung **32** ist ein erstes Rückschlagventil **50** angeordnet, das ein Rückfließen von Brennstoff von dem Hochdruckgasbehälter **60** (bzw. aus der zweiten Verbindungsleitung **34** und/oder der vierten Verbindungsleitung **36**) zu dem Verdichter **90** verhindert. In der zweiten Verbindungsleitung **34** ist ein zweites Rückschlagventil **51** angeordnet, welches ein Rückfließen von Brennstoff aus dem Hochdruckgasbehälter **60** (bzw. aus der ersten Verbindungsleitung **32** und/oder der vierten Verbindungsleitung **36**) zu dem Wärmetauscher **70** verhindert.

[0043] Der Verdichter **90** verdichtet bzw. komprimiert den Brennstoff, der aus dem kryogenen Druckbehälter **20** über das erste Dreiwegeventil **23**, den Wärmetauscher **70** und das zweite Dreiwegeventil **24** dem Verdichter **90** zugeführt wird. Auf diese Weise kann der Brennstoff auch dann aus dem kryogenen Druckbehälter **20** in den Hochdruckgasbehälter **60** strömen, wenn der Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter **20** unterhalb des Drucks des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter **60** und/oder unterhalb eines Grenzdruckwerts ist.

[0044] Ein zweites Druckentlastungsventil **28** ist in einer Verbindungsleitung angeordnet, die einen Abschnitt zwischen dem Wärmetauscher **70** und dem zweiten Dreiwegeventil **24** und einen Abschnitt der zweiten Verbindungsleitung **34** zwischen dem zweiten Dreiwegeventil **24** und dem zweiten Rückschlagventil **51** fluidverbindet. Wenn der Druckunterschied des Brennstoffs an der Stelle nach dem Wärmetauscher **70** relativ zu dem Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter **60** einen Druckunterschiedswert überschreitet (z.B. mehr als ca. 300 bar beträgt) öffnet das zweite Druckentlastungsventil **28** und Brennstoff von dem Abschnitt zwischen dem

Wärmetauscher **70** und dem zweiten Dreiwegeventil **24** strömt in den Abschnitt der zweiten Verbindungsleitung **34** zwischen dem zweiten Dreiwegeventil **24** und dem zweiten Rückschlagventil **51** und von hier in den Hochdruckgasbehälter **60** und/oder über die dritte Verbindungsleitung **35** direkt zu dem Brennstoffverbraucher **80**.

[0045] Auf diese Weise kann auch bei einem geparkten Fahrzeug bzw. ausgeschaltetem Motor (also auch ohne Verfügbarkeit eines elektrischen oder elektronischen Systems) und bei geschlossenem zweiten Dreiwegeventil **24**, Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter **20** in den Hochdruckgasbehälter **60** strömen. Im Fahrzeugbetrieb bzw. Motorbetrieb kann das zweite Dreiwegeventil **24** angesteuert werden und über das geöffnete zweite Dreiwegeventil **24** Brennstoff in die zweite Verbindungsleitung **34** strömen. Ein Überströmen des Brennstoffs ist dann auch bei einem geringen Druckunterschied zwischen dem Brennstoff in dem kryogenen Druckbehälter **20** und dem Brennstoff in dem Hochdruckgasbehälter **60** möglich. Der Druckunterschied zum Überströmen von Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter **20** in den Hochdruckgasbehälter **60** ist einstellbar. Der Brennstoff kann gleichzeitig aus dem kryogenen Druckbehälter **20** dem Hochdruckgasbehälter **60** über das zweite Dreiwegeventil **24** und die zweite Verbindungsleitung **34** zugeführt werden und dem Hochdruckgasbehälter **60** entnommen und über die Verbindungsleitung **65** dem Brennstoffverbraucher **80** zugeführt werden.

[0046] Eine dritte Verbindungsleitung **35** fluidverbindet einen Abschnitt der zweiten Verbindungsleitung **34** (der strömungstechnisch nach der Leitung von dem dritten Druckentlastungsventil **29** in die zweite Verbindungsleitung **34** angeordnet ist) zwischen dem zweiten Dreiwegeventil **24** und dem zweiten Rückschlagventil **51** und einem dritten Dreiwegeventil **25**, das zwischen dem Auslass des Hochdruckgasbehälters **60** und dem Brennstoffverbraucher **80** angeordnet ist. Das dritte Dreiwegeventil **25** ist fluidverbunden mit dem Auslass des Hochdruckgasbehälters **60**, dem Brennstoffverbraucher **80** und der dritten Verbindungsleitung **35**. Das dritte Dreiwegeventil **25** kann den Brennstoff von dem Hochdruckgasbehälter **60** und/oder von der dritten Verbindungsleitung **35** zu dem Brennstoffverbraucher **80** strömen lassen. Auch ist das dritte Dreiwegeventil **25** ausgebildet, einen oder beide Strömungswege zu sperren.

[0047] Stromabwärts der ersten Verbindungsleitung **32** bzw. der zweiten Verbindungsleitung **34** bzw. der vierten Verbindungsleitung **36** und vor dem Einlass des Hochdruckgasbehälters **60** ist ein drittes Druckentlastungsventil **29** angeordnet. Das dritte Druckentlastungsventil **29** lässt Brennstoff in die Umgebung und/oder zu einem Blow-Off-Management-System

strömen, wenn der Druck des Brennstoffs an dieser Stelle zu groß ist.

[0048] Bei der Befüllung des Druckbehältersystems **10** mit kryogenem Brennstoff strömt der Brennstoff durch den kryogenen Druckbehälter **20**, wodurch dieser abgekühlt wird, und wird durch die vierte Verbindungsleitung **36** in den Hochdruckgasbehälter **60** strömen gelassen. Der Strömungsweg durch den Wärmetauscher **70** ist geschlossen. Während der Befüllung wird die Dichte des Brennstoffs ($f(T,p)$) im Hochdruckgasbehälter **60** überwacht. Ist die maximal zulässige Dichte an Brennstoff in dem Hochdruckgasbehälter **60** erreicht, wird das erste Dreiwegeventil **23** geschlossen, so dass kein Brennstoff mehr durch die vierte Verbindungsleitung **36**, die zweite Verbindungsleitung **34** oder die erste Verbindungsleitung **32** in den Hochdruckgasbehälter **60** strömt, d.h. das erste Dreiwegeventil **23** verschließt den Auslass des kryogenen Druckbehälters **20** vollständig. Nun wird der kryogene Druckbehälter **20** mit Brennstoff befüllt. Wenn sowohl im Druckbehälter **20** als auch im Hochdruckbehälter **60** die maximale Dichte bzw. wenn der maximal zulässige Druck bzw. Maximaldruck in dem kryogenen Druckbehälter **20** erreicht ist, wird die Befüllung beendet (z.B. durch die Tankstelle bzw. Befüllquelle, durch Kommunikation zwischen Fahrzeug und Befüllquelle oder durch Schließen eines Befüllventils) und/oder durch Schließen des Einlassventils **22** des kryogenen Druckbehälters **20**.

[0049] Der Brennstoff strömt bei entsprechend geöffnetem Dreiwegeventil **25** aus dem Hochdruckgasbehälter **60** durch die Verbindungsleitung **65** zu dem Brennstoffverbraucher **80**.

[0050] Zwischen dem zweiten Dreiwegeventil **24** und dem Verdichter **90** ist bei der ersten Ausführungsform ein viertes Druckentlastungsventil **30** angeordnet. Das vierte Druckentlastungsventil **30** lässt Brennstoff in die Umgebung und/oder zu einem Blow-Off-Management-System strömen, wenn der Druck des Brennstoffs an der Stelle zwischen dem vierten Druckentlastungsventil **24** und dem Verdichter **90** zu groß ist.

[0051] Fig. 2 eine schematische Ansicht einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Druckbehältersystems **10**. Die zweite Ausführungsform unterscheidet sich von der ersten Ausführungsform dadurch, dass keine vierte Verbindungsleitung **36** vorhanden ist, und dadurch, dass der Wärmetauscher **70** erst nach dem zweiten Dreiwegeventil **24** bzw. nach der Abzweigung der zweiten Verbindungsleitung **34** angeordnet ist. D.h. der Wärmetauscher **70** ist zwischen dem zweiten Dreiwegeventil **24** und dem Verdichter **90** angeordnet.

[0052] Der Brennstoff kann aus dem kryogenen Druckbehälter **20** auf folgenden Wegen bzw. Arten zu dem Brennstoffverbraucher **80** gelangen:

1. über das erste Dreiwegeventil **23**, durch den Wärmetauscher **70**, durch das zweite Dreiwegeventil **24** in die zweite Verbindungsleitung **34** und durch den Hochdruckgasbehälter **60** (wobei der Brennstoff hier zwischengespeichert werden kann).
2. über das erste Dreiwegeventil **23**, durch den Wärmetauscher **70**, durch die erste Verbindungsleitung **32**, durch den Verdichter **90** und durch den Hochdruckgasbehälter **60** (wobei der Brennstoff hier zwischengespeichert werden kann).
3. über das erste Dreiwegeventil **23**, durch den Wärmetauscher **70**, durch das zweite Dreiwegeventil **24** in die zweite Verbindungsleitung **34**, in die dritte Verbindungsleitung **35**, durch das dritte Dreiwegeventil **25** und somit unter Umgehung des Hochdruckgasbehälters **60** zu dem Brennstoffverbraucher **80**.
4. über das erste Dreiwegeventil **23**, durch den Wärmetauscher **70**, durch das zweite Druckentlastungsventil **28**, in die zweite Verbindungsleitung **34** durch den Hochdruckgasbehälter **60** (wobei der Brennstoff hier zwischengespeichert werden kann).

[0053] Wenn durch Entnahme von Brennstoff aus dem Hochdruckgasbehälter **60** ein Grenzdifferenzdruck zwischen dem Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter **20** und dem Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter **60** erreicht wird, strömt (kryogener) Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter **20** über das zweite Druckentlastungsventil **28** in den Hochdruckgasbehälter **60**. Der Grenzdifferenzdruck kann z.B. 0 bar, vorzugsweise 100 bar, besonders vorzugsweise 300 bar betragen. Diese Funktion kann rein mechanisch ausgebildet sein und funktioniert daher auch, wenn das Fahrzeug geparkt bzw. abgestellt ist. Hierfür kann insbesondere das erste Dreiwegeventil **23** derart ausgebildet sein, dass dieses im stromlosen Zustand die Verbindung zu dem Wärmtauscher **70** freigibt bzw. auf „offen“ schaltet. Somit kann die Kapazität bzw. das Volumen des Hochdruckgasbehälters **60** genutzt werden, um Blow-Off des Brennstoffs aus dem kryogenen Druckbehälter **20** aufzunehmen.

[0054] Wenn die Dichte des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter **60** einen Grenzdichtewert unterschreitet (z.B. wenn der Hochdruckgasbehälter **60** leer oder fast leer ist) und der Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter gleich oder höher als ein Grenzdruckwert ist, wird Brennstoff durch die zweite Verbindungsleitung **34** strömen gelassen (das zweite Dreiwegeventil **24** öffnet die zweite Verbindungs-

ungsleitung **34** und schließt die erste Verbindungsleitung **32**). Zum Überströmen weist der Brennstoff in dem kryogenen Druckbehälter **20** einen höheren Druck auf als der Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter **60**. Der Brennstoff kann über die dritte Verbindungsleitung **35** direkt dem Brennstoffverbraucher **80** zugeführt werden oder dem Hochdruckgasbehälter **60** zugeführt werden. Der Brennstoff kann hierbei vorkonditioniert bzw. erwärmt werden.

[0055] Wenn die Dichte des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter **60** einen Grenzdichtewert unterschreitet (z.B. wenn der Hochdruckgasbehälter **60** leer oder fast leer ist) und der Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter **60** unter einen Grenzdrukwert fällt, der für den (effizienten) Betrieb des Brennstoffverbrauchers **80** notwendig ist, kann entweder Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter **20** unverdichtet in den Hochdruckgasbehälter **60** strömen gelassen werden (sofern der Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter **20** höher als der Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter **60** ist) oder es kann das zweite Dreiwegeventil **24** derart geschaltet werden, dass die zweite Verbindungsleitung **34** geschlossen und die erste Verbindungsleitung **32** geöffnet wird. Bei letzterer Möglichkeit wird der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter **20** durch den Verdichter **90** in der ersten Verbindungsleitung **32** verdichtet (d.h. der Druck des Brennstoffs wird erhöht), bevor der Brennstoff dem Hochdruckgasbehälter **60** zugeführt wird. Somit kann, sofern in dem kryogenen Druckbehälter **20** ausreichend viel Brennstoff vorhanden ist, dem Hochdruckgasbehälter **60** bzw. durch den Hochdruckgasbehälter **60** dem Brennstoffverbrauch **80** Brennstoff mit einem ausreichenden Druck (insbesondere oberhalb des Grenzdrukwerths) zugeführt werden. Auch kann auf diese Weise Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter **20** in den Hochdruckgasbehälter **60** strömen, wenn der Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter **20** niedriger ist als der Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter **60**. Ein Erwärmen des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter **20** ist hierfür nicht notwendig.

[0056] Alternativ zu der zweiten Verbindungsleitung **34** kann ein Druckreglerpfad vorhanden sein. Der Druckreglerpfad umfasst einen Druckregler, über den der Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter **60** mechanisch, d.h. ohne den Bedarf einer E/E-Reglung, über den kryogenen Druckbehälter **20** eingestellt wird. D.h. es erfolgt ein kontinuierliches Überströmen von Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter **20** in den Hochdruckgasbehälter **60**, sobald der Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter **60** unter einen Grenzdrukwert fällt. Auf diese Weise kann der finale Druckhub, der sich durch Überströmen von Brennstoff über das zweite Druckentlastungsventil **28** einstellt, bzw. der

Druckunterschied zwischen dem Brennstoff in dem kryogenen Druckbehälter **20** und dem Hochdruckgasbehälter **60** unterschritten werden und weiterhin Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter **20** entnommen werden. Erst wenn der Druckregler komplett geöffnet ist und der Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter **60** durch die Entnahme von Brennstoff weiter fällt, wird der Grenzdichtewert in dem Hochdruckgasbehälter **60** unterschritten und der Brennstoff über den Verdichter **90** in der ersten Verbindungsleitung **32** geführt.

[0057] Erfolgt über einen längeren Zeitraum keine Entnahme aus dem kryogenen Druckbehälter **20** (z.B. durch längeres Parken des Fahrzeugs), steigt der Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter **20** durch Wärmeeintrag aus der Umgebung an. Wird der Grenzdifferenzdruck zwischen dem kryogenen Druckbehälter **20** und dem Hochdruckgasbehälter **60** erreicht, strömt kryogener Brennstoff über das zweite Druckentlastungsventil **28** von dem kryogenen Druckbehälter **20** in den Hochdruckgasbehälter **60**. Der Massenstrom des Brennstoffs kann durch eine Blende eingestellt werden. Der kryogene Brennstoff wird durch die Wärmekapazität des Wärmetauschers **70**, der Verbindungsleitung und weitere Komponenten erwärmt (d.h. für das zweite Druckentlastungsventil **28** vorkonditioniert). Alternativ kann ein zusätzlicher (Luft-)Wärmetauscher **70** eingesetzt werden oder das zweite Druckentlastungsventil **28** ist bzw. wird für den kryogenen Betrieb ausgelegt. Besteht in dem Hochdruckgasbehälter **60** keine Aufnahmekapazität mehr bzw. wird ein Grenzdichtewert des Brennstoffs (z.B. 340 bar) im kryogenen Druckbehälter **20** überschritten, wird der Brennstoff über ein Sicherheitsventil (z.B. über ein blow-off-management-system, BMS) in die Umwelt abgegeben.

[0058] Der Wärmetauscher **70** kann auch entfallen, so dass dem Verdichter **90** kryogener Brennstoff zugeführt wird. Der Verdichter **90** kann in diesem Fall ein Kryo-Verdichter sein.

[0059] Zwischen dem Wärmetauscher **70** und dem Verdichter **90** ist bei der zweiten Ausführungsform ein viertes Druckentlastungsventil **30** angeordnet. Das vierte Druckentlastungsventil **30** lässt Brennstoff in die Umgebung und/oder zu einem Blow-Off-Management-System strömen, wenn der Druck des Brennstoffs an der Stelle zwischen dem Wärmetauscher **70** und dem Verdichter **90** zu groß ist.

[0060] Fig. 3 zeigt eine schematische Ansicht einer dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Druckbehältersystems. Die in Fig. 3 gezeigte dritte Ausführungsform unterscheidet sich von der in Fig. 2 gezeigten zweiten Ausführungsform darin, dass das erste Druckentlastungsventil **26** und das zweite Druckentlastungsventil **28** nicht vorhanden sind und stattdessen ein 3/2-Wegeventil **39** in ei-

ner Verbindungsleitung angeordnet ist, die unter Umgehung des zweiten Dreiwegeventils **24** den Auslass des kryogenen Druckbehälters **20** mit der zweiten Verbindungsleitung **34** verbindet. Ein Auslass des 3/2-Wegeventils **39** ist mit der zweiten Verbindungsleitung **34** verbunden und ein Auslass des 3/2-Wegeventils ist mit der Umgebung verbunden. Wenn ein Differenzdruck zwischen dem Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter **20** und der Umgebung einen vorgegebenen Grenzwert oder Maximalwert übersteigt, strömt Brennstoff durch das 3/2-Wegeventil aus dem kryogenen Druckbehälter **20** in den Hochdruckgasbehälter **60**. Ein erster Grenzwert, bei dem der Strömungsweg zum Hochdruckgasbehälter **60** geöffnet wird, ist niedriger als ein zweiter Grenzwert, bei dem der Strömungsweg in die Umgebung freigegeben wird. D.h. bevor der Blow-Off aus dem kryogenen Druckbehälter **20** in die Umgebung geblasen wird, wird der Überströmpfad bzw. Strömungspfad in den Hochdruckgasbehälter **60** geöffnet.

[0061] Steigt der Druck des Brennstoffs in dem kryogenen Druckbehälter **20** weiter und über den zweiten Grenzwert, weil in dem Hochdruckgasbehälter **60** bereits der gleiche Druck wie in dem kryogenen Druckbehälter **20** herrscht, öffnet das 3/2-Wegeventil zur Umgebung hin und bläst Brennstoff aus dem kryogenen **20** in die Umgebung ab. Anstelle eines 3/2-Wegeventils ist auch ein Ventil mit einer E/E-Funktion möglich. Bei der E/E-Funktion kann der Differenzdruck variabel und nach Situation eingestellt werden.

[0062] Insbesondere ist es vorteilhaft, wenn der Brennstoff in dem kryogenen Druckbehälter **20** möglichst lange eine hohe Dichte aufweist. Dadurch ist die Wärmekapazität im kryogenen Druckbehälter **20** hoch und der Temperaturanstieg durch einen konstanten Isolationswärmestrom minimiert.

[0063] Das 3/2-Wegeventil ist insbesondere derart ausgebildet, dass es im stromlosen Zustand Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter **20** in den Hochdruckgasbehälter **60** strömen lässt, wenn der erste Grenzwert überschritten wird.

[0064] Der erste Grenzwert, bei dessen Überschreiten Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter **20** durch das 3/2-Wegeventil in den Hochdruckgasbehälter **60** strömen gelassen wird, kann z.B. 320 bar sein. Der zweite Grenzwert, bei dessen Überschreiten Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter **20** in die Umgebung abgelassen bzw. abgeblasen wird, kann z.B. 350 bar sein.

[0065] Aus Gründen der Leserlichkeit wurde vereinfachend der Ausdruck „mindestens ein(e)“ teilweise weggelassen. Sofern ein Merkmal der hier offenbarten Technologie in der Einzahl bzw. unbestimmt beschrieben ist (z.B. der/ein kryogener Druckbehälter, der/ein Hochdruckgasbehälter, der/ein Verdich-

ter, etc.) so soll gleichzeitig auch deren Mehrzahl mit offenbart sein (z.B. der mindestens eine kryogene Druckbehälter, der mindestens eine Hochdruckgasbehälter, der mindestens eine Verdichter, etc.).

[0066] Die vorhergehende Beschreibung der vorliegenden Erfindung dient nur zu illustrativen Zwecken und nicht zum Zwecke der Beschränkung der Erfindung. Im Rahmen der Erfindung sind verschiedene Änderungen und Modifikationen möglich, ohne den Umfang der Erfindung sowie ihrer Äquivalente zu verlassen.

Bezugszeichenliste

- 10** Druckbehältersystem
- 15** Befüllöffnung/Tankkupplung
- 17** Verbindungsleitung von der Tankkupplung zu dem kryogenen Druckbehälter
- 20** kryogener Druckbehälter
- 22** Einlassventil des kryogenen Druckbehälters
- 23** erstes Dreiwegeventil
- 24** zweites Dreiwegeventil
- 25** drittes Dreiwegeventil
- 26** erstes Druckentlastungsventil
- 28** zweites Druckentlastungsventil
- 29** drittes Druckentlastungsventil
- 30** viertes Druckentlastungsventil
- 32** erste Verbindungsleitung
- 34** zweite Verbindungsleitung
- 35** dritte Verbindungsleitung
- 36** vierte Verbindungsleitung
- 39** 3/2-Wegeventil
- 50** erstes Rückschlagventil
- 51** zweites Rückschlagventil
- 60** Hochdruckgasbehälter
- 65** Verbindungsleitung von dem Hochdruckgasbehälter zu dem Brennstoffverbraucher
- 70** Wärmetauscher
- 80** Brennstoffverbraucher
- 90** Verdichter

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 1546601 B1 [0008]

Patentansprüche

1. Druckbehältersystem (10) für ein Fahrzeug, wobei das Druckbehältersystem (10)

- mindestens einen kryogenen Druckbehälter zum Speichern von Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, und

- mindestens einen Hochdruckgasbehälter (60) zum Speichern von Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, umfasst,

wobei ein Einlass des kryogenen Druckbehälters (20) über eine Verbindungsleitung (17) mit einer Befüllöffnung (15) zum Befüllen des kryogenen Druckbehälters (20) fluidverbunden ist,

wobei ein Auslass des Hochdruckgasbehälters (60) über eine Verbindungsleitung (65) mit einem Brennstoffverbraucher (80), insbesondere einer Brennstoffzelle, fluidverbunden ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

in einer ersten absperrbaren Verbindungsleitung (32) zwischen dem Auslass des kryogenen Druckbehälters (20) und einem Einlass des Hochdruckgasbehälters (60) ein Verdichter (90) zum Komprimieren des Brennstoffs aus dem kryogenen Druckbehälter (20) angeordnet ist.

2. Druckbehältersystem (10) nach Anspruch 1, ferner umfassend eine zweite absperrbare Verbindungsleitung (34) zwischen dem Auslass des kryogenen Druckbehälters (20) und dem Einlass des Hochdruckgasbehälters (60), wobei in der zweiten absperrbaren Verbindungsleitung (34) kein Verdichter (90) angeordnet ist.

3. Druckbehältersystem (10) nach Anspruch 1 oder 2, ferner umfassend eine absperrbare dritte Verbindungsleitung (35), wobei die dritte Verbindungsleitung (35) aus der zweiten Verbindungsleitung (34) abzweigt und die zweite Verbindungsleitung (34) unter Umgehung des Hochdruckgasbehälters (60) mit dem Brennstoffverbraucher (80) fluidverbindet.

4. Druckbehältersystem (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend einen Wärmetauscher zum Erwärmen des Brennstoffs, wobei der Wärmetauscher zwischen dem kryogenen Druckbehälter (20) und dem Verdichter (90) angeordnet ist.

5. Druckbehältersystem (10) nach Anspruch 4, wobei der Wärmetauscher derart angeordnet ist, dass der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter (20) durch den Wärmetauscher strömen muss, bevor der Brennstoff in die zweite Verbindungsleitung (34) gelangen kann.

6. Druckbehältersystem (10) nach Anspruch 4 oder 5, ferner umfassend eine vierte absperrbare Verbindungsleitung (36), wobei die vierte Verbindungsleitung (36) den Auslass des kryogenen Druckbehäl-

ter (20) mit dem Einlass des Hochdruckgasbehälters (60) unter Umgehung des Wärmetauschers, insbesondere unter Umgehung des Wärmetauschers und unter Umgehung des Verdichters (90), fluidverbindet.

7. Druckbehältersystem (10) nach Anspruch 4, wobei der Wärmetauscher derart angeordnet ist, dass der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter (20) nicht durch den Wärmetauscher strömen muss, bevor der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter (20) in die zweite Verbindungsleitung (34) strömen kann.

8. Verfahren zum Zuführen von Brennstoff aus einem in einem Fahrzeug angeordneten Druckbehältersystem (10) zu einem Brennstoffverbraucher (80), insbesondere einer Brennstoffzelle, wobei das Druckbehältersystem (10)

- mindestens einen kryogenen Druckbehälter (20) zum Speichern von Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, und

- mindestens einen Hochdruckgasbehälter (60) zum Speichern von Brennstoff, insbesondere Wasserstoff, umfasst,

wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

- wenn eine Dichte des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter (60) niedriger als ein Grenzdichtewert ist und ein Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter (60) niedriger als ein Grenzdruk- wert ist: Verdichten des Brennstoffs aus dem kryogenen Druckbehälter (20) mittels eines Verdichters (90) und Strömen lassen des verdichteten Brennstoffs in den Hochdruckgasbehälter (60);

- wenn eine Dichte des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter (60) niedriger als ein Grenzdichtewert ist und ein Druck des Brennstoffs in dem Hochdruckgasbehälter (60) gleich oder höher als ein Grenzdruk- wert ist: Strömen lassen von Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter (20) in den Hochdruckgasbehälter (60), ohne den Brennstoff mittels des Verdichters (90) zu verdichten; und

- Zuführen von Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter (20) und/oder aus dem Hochdruckgasbehälter (60) zu dem Brennstoffverbraucher (80).

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter (20) vor dem Zuführen des Brennstoffs zu dem Verdichter (90) mittels eines Wärmetauschers erwärmt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei der Brennstoff aus dem kryogenen Druckbehälter (20) durch eine zweite und/oder vierte Verbindungsleitung (36) unter Umgehung des Wärmetauschers in den Hochdruckgasbehälter (60) strömen gelassen wird.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

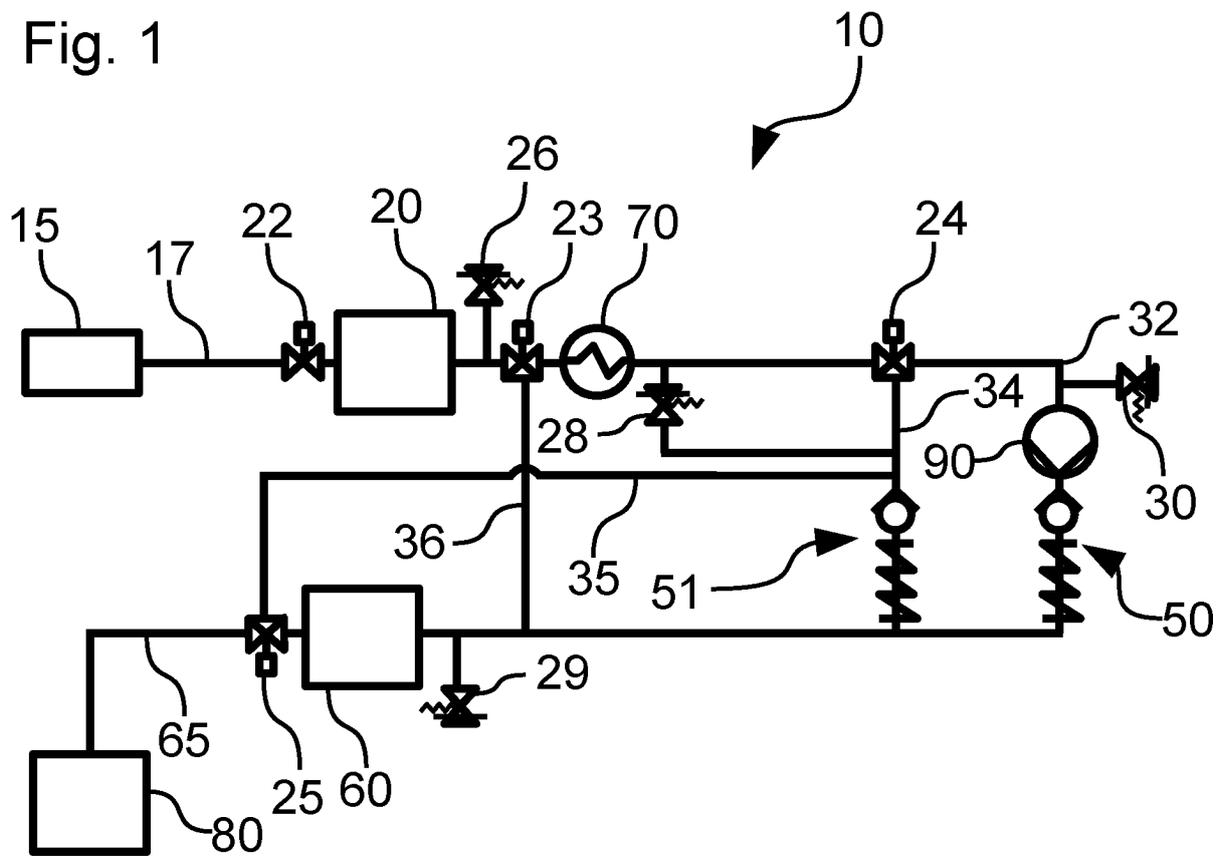


Fig. 2

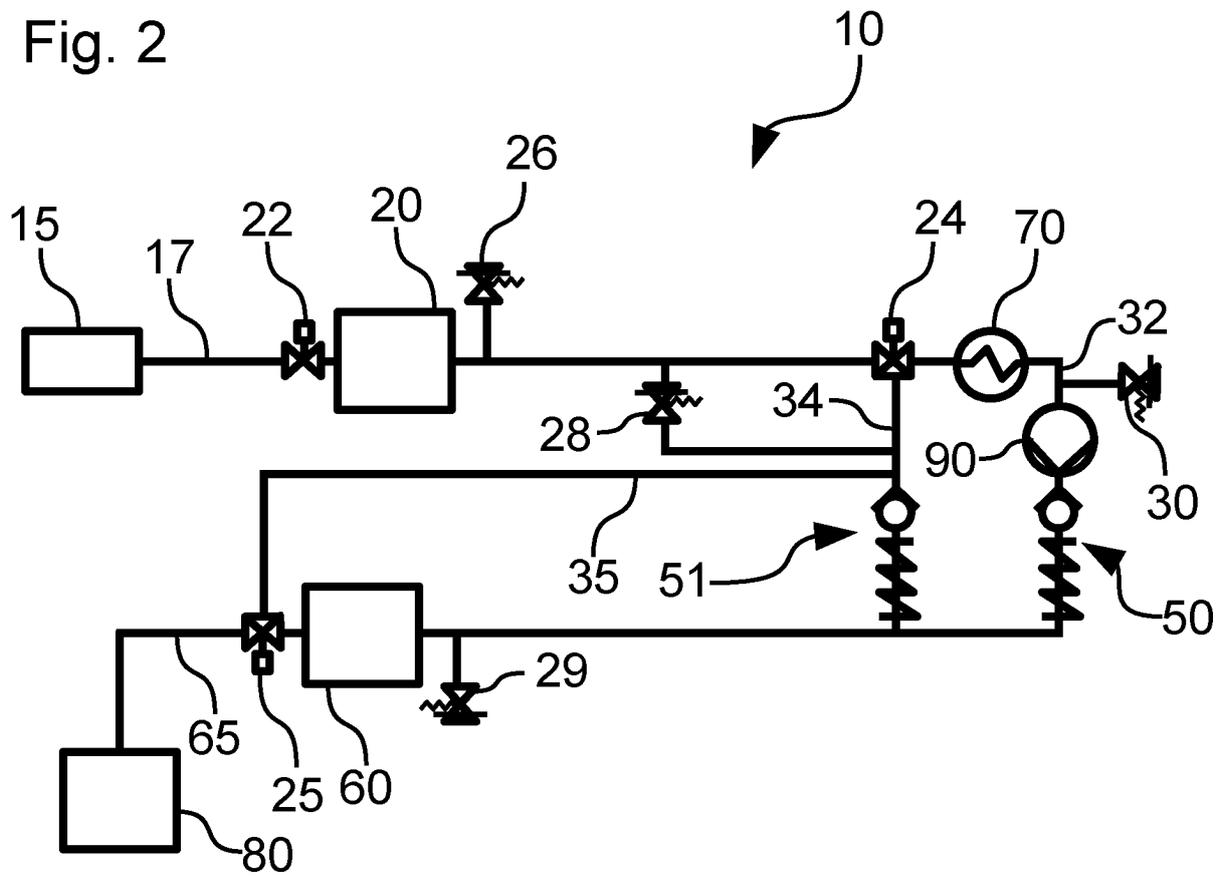


Fig. 3

