



(11) **EP 4 495 474 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
22.01.2025 Patentblatt 2025/04

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F17C 7/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23186523.9**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F17C 7/02

(22) Anmeldetag: **19.07.2023**

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

(72) Erfinder:
• **Rebernik, Matthias**
8010 Graz (AT)
• **Michal, Ludwig**
8074 Raaba-Grambach (AT)
• **Passler, Alexander**
8143 Dobl-Zwaring (AT)

(71) Anmelder:
• **Cryoshelter LH2 GmbH**
8143 Dobl-Zwaring (AT)
• **Cryoshelter BioLNG GmbH**
8143 Dobl-Zwaring (AT)

(74) Vertreter: **Schwarz & Partner Patentanwälte
GmbH**
Patentanwälte
Wipplingerstraße 30
1010 Wien (AT)

(54) **KRYOBEHÄLTER MIT BOIL-OFF-ARMATUR**

(57) Die Erfindung betrifft ein System (1) umfassend einen Kryobehälter (2) zur Lagerung von Kryofluid und eine in den Kryobehälter (2) geführte Anschlussleitung (4) zur Entnahme von Kryofluid aus dem Kryobehälter (2), wobei die Anschlussleitung (4) innerhalb des Kryobehälters (2) eine Armatur aufweist, wobei ein Öffnungsquerschnitt (q1) der Armatur mindestens 10-mal, bevor-

zugt 100-mal oder 1000-mal, kleiner ist als der Innenquerschnitt (q2) der Anschlussleitung (4) zwischen der Armatur und der Anschlussstelle (7) an den Kryobehälter (4), und wobei die Anschlussleitung (4) zwischen der Armatur und der Anschlussstelle (7) an den Kryobehälter (2) mit einer vorbestimmten Länge (L) geführt ist, die bevorzugt länger als 50 cm ist.

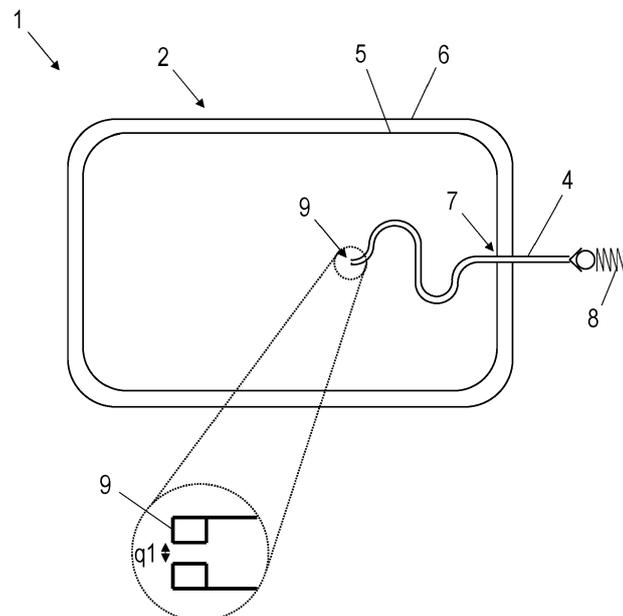


Fig. 1

EP 4 495 474 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein System umfassend einen Kryobehälter zur Lagerung von Kryofluid und eine in den Kryobehälter geführte Anschlussleitung zur Entnahme von Kryofluid aus dem Kryobehälter.

[0002] Gemäß dem Stand der Technik können verflüssigte Gase in Behältern ("Kryobehältern") gespeichert werden, um diese als Kraftstoff für beispielsweise einen Motor zu lagern. Kryobehälter lagern Gase in tiefkalt verflüssigter Form. Gase wie z.B. Methan oder Wasserstoff weisen in ihrer verflüssigten Form eine 600-mal bis 800-mal höhere Dichte auf als im Normzustand (Umgebungstemperatur und Druck). Dieser Dichteanstieg ist der Nutzen der Verflüssigung und gleichzeitig ein Risiko in der Absicherung von Kryobehältern, denn die vollständige Erwärmung eines vollgefüllten Kryobehälters und damit ein Verdampfen des verflüssigten Gases würde zu Drücken von weit über 1.000 bar bis hin zu 2.000 bar führen. Derartige Drücke würden jedenfalls die mechanische Belastbarkeit des Druckbehälters bei weitem übersteigen.

[0003] Der Regelung des Druckes im Kryobehälter kommt daher eine besondere Bedeutung auf diesem technischen Gebiet zu. Einerseits ist bekannt, ein Überdruckventil mit dem Kryobehälter zu verbinden, um gasförmiges Kryofluid aus dem Kryobehälter auszulassen, wenn der Druck bei Stillstand des Systems einen zulässigen Höchstdruck überschreitet, siehe z.B. die WO 2022/204745 A1. Es ist jedoch ersichtlich, dass weiterhin das Problem besteht, dass das Auslassen von Kryofluid an die Umwelt einerseits einen Energieverlust darstellt und andererseits auch eine Beeinflussung der Umwelt mit sich bringt.

[0004] Eine Regelung des Druckes im Kryobehälter kann auch dadurch erfolgen, dass im Betrieb des Systems Kryofluid entweder im gasförmigen Zustand oder im flüssigen Zustand entnommen werden kann. Hierfür werden sogenannte Economizer eingesetzt, siehe z.B. die WO 2022/067362 A1.

[0005] Bei beiden vorgenannten Ausführungsformen erfolgt die Druckregelung dadurch, dass gasförmiges Kryofluid aus dem Kryobehälter entnommen wird, d.h. das Volumen an Kryofluid im Kryobehälter wird reduziert, wobei die Temperatur jedoch konstant bleibt. Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion des Drucks wäre theoretisch, das Kryofluid im Kryobehälter mit äußeren Mitteln wie einem Wärmetauscher zu kühlen, wobei dies jedoch zu komplex ist und daher in vielen Gebieten wie der Fahrzeugtechnik kaum umsetzbar ist.

[0006] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die genannten Systeme dahin weiterzuentwickeln, dass die bestehenden Möglichkeiten zur Druckreduktion im Kryobehälter optimiert werden.

[0007] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein System umfassend einen Kryobehälter zur Lagerung von Kryofluid und eine in den Kryobehälter geführte Anschlussleitung zur Entnahme von Kryofluid aus dem Kryobe-

hälter, wobei die Anschlussleitung innerhalb des Kryobehälters eine Armatur aufweist, wobei ein Öffnungsquerschnitt der Armatur dauerhaft oder in zumindest einer Betriebsstellung mindestens 100-mal, bevorzugt 10.000-mal oder 1.000.000-mal, kleiner ist als der Innenquerschnitt der Anschlussleitung stromabwärts der Armatur in Entnahmerichtung (z.B. zwischen der Armatur und der Anschlussstelle an den Kryobehälter; alternativ könnte der Drosselquerschnitt aber auch bis nach außen geführt werden, wobei üblicherweise jedoch eine kurze Drosselstrecke gewünscht wird), wobei die Anschlussleitung zwischen der Armatur und der Anschlussstelle an den Kryobehälter mit einer vorbestimmten Länge geführt ist, die bevorzugt länger als 50 cm ist.

[0008] Die erfindungsgemäße Armatur hat den Vorteil, dass das aus dem Kryobehälter entnommene Kryofluid bereits innerhalb des Kryobehälters expandiert wird. Durch diese Expansion kommt es zu einer Reduktion der Temperatur des expandierten Kryofluids. Dies kann ausgenutzt werden, um das im Kryobehälter befindliche Kryofluid zu kühlen, aus welchem Grund die Anschlussleitung innerhalb des Kryobehälters mit einer vorbestimmten Länge geführt ist, um eine ausreichende Wärmeübertragung zwischen dem innerhalb der Anschlussleitung befindlichen expandierten Kryofluid und dem außerhalb der Anschlussleitung befindlichen Kryofluid zu ermöglichen. Die Temperaturreduktion des Kryofluids bei der Expansion und der damit einhergehenden Druckreduktion kann je nach Ausführungsform der Armatur z.B. als isenthalper oder isentroper Prozess angesehen werden. Bei einer idealen Drossel würde man z.B. von einem isenthalpen Prozess sprechen, in welchem Fall die Temperaturreduktion als Joule-Thomson-Effekt bekannt ist. Beim Einsatz eines Generators als Armatur würde zwar keine Temperaturreduktion auftreten, jedoch könnte die gewonnene Energie anders genutzt werden. Würde z.B. ein Generator zusätzlich oder auch für sich als Armatur zum Einsatz kommen, könnte dieser dem ausströmenden Fluid zusätzlich Energie entziehen und so zu einer weiteren Abkühlung führen. Die entzogene Energie könnte z.B. als elektrische Energie mit Hilfe von Kabeln nach außerhalb des Kryobehälters transportiert werden.

[0009] Die Erfindung nutzt den kühlenden Effekt bei Druckentspannung durch eine Druckentspannung innerhalb des Kryobehälters selbst. Die Druckentspannung erfolgt durch den geringen Durchmesser der Armatur. Stromaufwärts der Armatur herrscht im Wesentlichen Behälterdruck, stromabwärts ein Druck möglichst nahe dem atmosphärischen Umgebungsdruck, in den das Medium ausströmt, um durch den möglichst großen Druckabfall einen möglichst großen Kühleffekt zu erreichen.

[0010] Um die Expansion des Kryofluids zu erzielen, weist die Armatur einen möglichst kleinen Öffnungsquerschnitt auf. Zum Zwecke der vorliegenden Erfindung kann der Öffnungsquerschnitt der Armatur als mindestens 100-mal, bevorzugt 10.000-mal oder 1.000.000-

mal, kleiner als der Innenquerschnitt der Anschlussleitung zwischen der Armatur und der Anschlussstelle an den Kryobehälter angenommen werden. Beispielsweise kann die Armatur einen Öffnungsquerschnitt von $1 \mu\text{m}^2$ bis 9mm^2 , besonders bevorzugt von $25 \mu\text{m}^2$ bis 1mm^2 oder von $900 \mu\text{m}^2$ bis $40.000 \mu\text{m}^2$, aufweisen. Diese Maßnahmen sind besonders vorteilhaft, jedoch kann hiervon auch abgewichen werden. Die Absolutwerte des Öffnungsquerschnitts können insbesondere vom Anwendungsfall abhängig sein, wobei im Fahrzeugbereich oder anderen mobilen Anwendungen Öffnungsquerschnitte im $1/100 \text{mm}^2$ -Bereich üblich sind und im Tankstellenbereich oder anderen statischen Anwendungen Öffnungsquerschnitte im mm^2 -Bereich vorgesehen werden könnten. In die exakte Dimensionierung des Öffnungsquerschnitts fließen üblicherweise jedoch auch Behältergröße, Art des Kryofluids, Druckverhältnis, Qualität der Behälterisolation und andere Parameter ein.

[0011] Auch die Länge der Anschlussleitung kann vom Anwendungsfall abhängen und z.B. zwischen der Armatur und der Anschlussstelle an den Kryobehälter z.B. eine Länge von 30 cm bis 3 m oder 1 m bis 2 m aufweisen.

[0012] Um eine möglichst effiziente Wärmeübertragung zwischen dem Kryofluid innerhalb der Anschlussleitung und außerhalb der Anschlussleitung zu erzielen, kann die Anschlussleitung innerhalb des Kryobehälters mäanderförmig geführt sein, wodurch eine längere Leitungslänge im Kryobehälter unterbringbar ist. Weiters kann die Anschlussleitung innerhalb des Kryobehälters auch oberflächenvergrößernde Strukturen, insbesondere Kühlrippen, aufweisen, wodurch die Leitungslänge auch kürzer ausgeführt sein kann. Unter oberflächenvergrößernden Strukturen wird auch verstanden, dass die Anschlussleitung zumindest abschnittsweise als Balgrohr ausgeführt sein könnte. In der Regel ist die Anschlussleitung aus Metall und bevorzugt aus demselben Material wie der Innentank gefertigt.

[0013] Die genannte Armatur könnte beispielsweise eine Drossel, eine Blende, eine Düse, insbesondere eine Lavaldüse, ein Ventil oder eine Turbine sein. Wenn die Armatur als Drossel, Blende oder Düse ausgeführt ist, hat diese dauerhaft dieselbe Innenkontur und damit auch dauerhaft denselben Öffnungsquerschnitt. Das Ventil hat einen veränderlichen Öffnungsquerschnitt, sodass das Ventil von zumindest einer ersten Betriebsstellung in eine zweite Betriebsstellung verbracht werden kann. Eine Turbine weist zumindest ein bewegliches Element auf, um Bewegungsenergie beim Durchtritt des Kryofluids in eine andere Energieform umzuwandeln.

[0014] Bevorzugt ist die Armatur eine Drossel mit einer Drossellänge von bevorzugt zumindest 1 mm, wobei die Drossel durch eine Bohrung durch eine Rohrwand der Anschlussleitung gebildet ist. Derartige Drosseln haben den Vorteil, dass sie besonders einfach hergestellt werden können, auch mit einem besonders geringen Durchmesser. Die Bohrung durch die üblicherweise zylindrische Rohrwand ist jedoch nur optional und könnte beispielsweise auch durch einen Pfropfen wie eine End-

kappe der Anschlussleitung verlaufen.

[0015] Bevorzugt ist die Drossel derart dimensioniert, dass bei einem vorbestimmten Druck (z.B. einem maximalen Behälterdruck, der beispielsweise in einem Bereich zwischen 15 bar und 20 bar liegen kann) gerade so viel ausströmt, dass der Druck im Kryobehälter nicht weiter ansteigt. Der entnommene Massenstrom durch die Drossel ist im Wesentlichen durch die Dichte des Fluids vor der Armatur (und somit vom Zustand des Fluids im Tank) abhängig und durch die kritische Geschwindigkeit (d.h. der Schallgeschwindigkeit) begrenzt und daher auch nicht weiter steuerbar. Der Massenstrom kann daher ohne weitere Maßnahmen nicht aktiv beeinflusst werden. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass der Massenstrom durch geeignete Dimensionierung der Armatur für einen Anwendungsfall (z.B. Boil-Off) hinreichend genau eingestellt werden kann.

[0016] Alternativ zur Drossel könnte die Armatur beispielsweise auch als Düse ausgebildet sein, insbesondere als Lavaldüse. Eine Düse erlaubt eine Geschwindigkeit des ausströmenden Massenstroms, die über der Schallgeschwindigkeit liegt.

[0017] An dieser Stelle sei festgehalten, dass eine Armatur mit dauerhaft kleinem Öffnungsquerschnitt nicht immer vorteilhaft ist, da diese einen großen Strömungswiderstand bietet. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass der Strömungswiderstand insbesondere bei sogenannten Boil-Off-Leitungen nicht relevant ist, d.h. bei Anschlussleitungen, die nur dazu vorgesehen sind, Kryofluid zur Druckreduktion des Kryobehälters an die Umwelt abzugeben und nicht, um das Kryofluid einem Verbraucher zuzuführen. Im Allgemeinen kann die Armatur jedoch auch bei Entnahmelösungen zum Einsatz kommen, beispielsweise wenn das Hindernis des Strömungswiderstandes weniger zu gewichten ist als die zusätzliche Kühlung durch die Expansion oder wenn zusätzliche Maßnahmen getroffen werden, um den Strömungswiderstand zu reduzieren.

[0018] In einer weiteren Variante könnte die Armatur jedoch auch ein Ventil mit einem veränderlichen Öffnungsquerschnitt sein, welches einen veränderlichen Öffnungsquerschnitt aufweist, wobei das Ventil von der ersten Betriebsstellung, in dem es den erstgenannten Öffnungsquerschnitt aufweist, der mindestens 100-mal, bevorzugt 10.000-mal oder 1.000.000-mal, kleiner ist als der Innenquerschnitt der Anschlussleitung zwischen dem Ventil und der Anschlussstelle an den Kryobehälter, in eine zweite Betriebsstellung versetzbar ist, in dem das Ventil einen zweiten Öffnungsquerschnitt aufweist, der mindestens 100-mal, bevorzugt 10.000-mal oder 1.000.000-mal, größer ist als der erstgenannte Öffnungsquerschnitt. Besonders bevorzugt ist der zweite Öffnungsquerschnitt gleich groß wie der genannte Innenquerschnitt der Anschlussleitung. Dies ist insbesondere für jenen Fall vorteilhaft, in dem die Anschlussleitung mit einem Verbraucher verbunden ist. Hierdurch kann der Strömungswiderstand für den Entnahmefall reduziert werden, wenn das Ventil in den zweiten Zustand versetzt

wird. Wenn kein Kryofluid aktiv aus dem Kryobehälter entnommen wird, kann das Ventil in den ersten Zustand versetzt werden, sodass dieses beispielsweise wieder Kryofluid über ein mit der Anschlussleitung verbundenes Überdruckventil oder ein anderes Auslassventil an die Umwelt abgegeben werden kann. Auch ein kontinuierlich veränderbarer Querschnitt von "möglichst klein" (im Idealfall geschlossen mit 0 mm², oder die oben genannten 1 µm² bis 9 mm²) bis "möglichst groß" (im Idealfall gleich groß wie die nachfolgende Anschlussleitung) wäre möglich. In diesem Fall könnte der Massenstrom an die Erfordernisse (z.B. erforderlicher Massenstrom für einen Verbraucher) angepasst werden.

[0019] In der genannten Ausführungsform mit Ventil ist ferner bevorzugt, wenn dieses mit einer Steuereinheit verbunden ist, welche Druckmesswerte einer im Kryobehälter angeordneten Druckmessseinheit erhält und dazu ausgebildet ist, den Öffnungsquerschnitt des Ventils derart anzusteuern, dass der Druck im Kryobehälter im Wesentlichen konstant bleibt, z.B. konstant einem Soll-Boil-Off-Druck entspricht. Die Steuereinheit kann die Armatur beispielsweise gerade so weit öffnen, um den Behälterdruck konstant zu halten. In dieser Variante ist kein weiteres Auslassventil notwendig.

[0020] In der Regel umfasst das System weiters ein Auslassventil, welches außerhalb des Kryobehälters in der Anschlussleitung vorgesehen ist. Bei dieser Variante ist die Armatur, insbesondere die Drossel, innerhalb des Kryobehälters angeordnet und das Auslassventil außerhalb des Kryobehälters. Solange kein Kryofluid auströmt - während der Hold Time - wird sich in der Anschlussleitung bis hin zum Auslassventil im Wesentlichen der Behälterdruck einstellen. Öffnet das Auslassventil, wird sich stromabwärts der Armatur im Wesentlichen der Umgebungsdruck einstellen. Das Auslassventil weist in der Regel nur einen geringen Strömungswiderstand auf.

[0021] In einer ersten bevorzugten Ausführungsform ist das Auslassventil ein Überdruckventil, welches dazu ausgebildet ist, bei Vorliegen eines vorbestimmten Druckes oder einer vorbestimmten Druckdifferenz zu öffnen, um Kryofluid aus dem Kryobehälter an die Umwelt abzugeben. Wie eingangs erläutert ist für diese Ausführungsform der Strömungswiderstand üblicherweise vernachlässigbar, sodass die Kombination aus Armatur im Kryobehälter und Überdruckventil besonders vorteilhaft ist, insbesondere wenn die Armatur eine starre Armatur mit unveränderbarem Öffnungsquerschnitt ist.

[0022] Ein Stottern von Überdruckventilen, die außerhalb des Kryobehälters vorgesehen sind, kann auftreten, da nach dem Öffnen des Überdruckventils an beiden Seiten des Überdruckventils der Umgebungsdruck vorliegen wird. Dies ist dadurch bedingt, dass die Armatur keinen unmittelbaren Druckausgleich ermöglicht. Wenn das Überdruckventil nun beispielweise aufgrund von einer vor und hinter dem Überdruckventil vorliegenden Druckdifferenz öffnet und schließt, wird das Überdruckventil nur äußerst kurz offen sein und sofort wieder

schließen. Nachdem der im Kryobehälter vorliegende Druck nach einer gewissen Zeit auch wieder innerhalb der Anschlussleitung vorliegt, wird es wieder zu einem Öffnen und kurz darauf zu einem Schließen kommen, was als Stottern bezeichnet wird.

[0023] Um ein Stottern zu verhindern, kann das Auslassventil als angesteuertes Auslassventil ausgeführt werden, welches Druckmesswerte einer im Kryobehälter angeordneten Druckmessseinheit enthält und auf Basis der erhaltenen Druckmesswerte öffnet und/oder schließt. Der "Referenzdruck", auf Basis dessen das Auslassventil gesteuert wird, ist somit nicht jener, der unmittelbar am Auslassventil vorliegt, sondern unmittelbar der Druck des Kryofluids im Kryobehälter, d.h. in Entnahmerichtung vor der Armatur. In anderen Worten misst die Druckmessseinheit den Druck im Kryobehälter in Entnahmerichtung vor der Armatur.

[0024] In einer weiteren vorteilhaften Variante könnte das Auslassventil Temperaturmesswerte einer Temperaturmessseinheit erhalten, welche bevorzugt die Temperatur eines Wärmeschilds misst, wobei das Auslassventil auf Basis der erhaltenen Temperaturmesswerte öffnet und/oder schließt, d.h. das Auslassventil könnte beispielsweise so lange offenbleiben, bis ein Element wie ein Wärmeschild ausreichend gekühlt ist, wodurch gleichzeitig ein Stottern des Auslassventils unterbunden wird.

[0025] In einer weiteren Variante könnte das Auslassventil mit einer Zeitschalteinrichtung ausgestattet und dazu ausgebildet sein, nach dem Öffnen erst nach einem vorbestimmten Zeitraum wieder zu schließen. Der Zeitraum könnte beispielsweise von einem Benutzer oder einer Steuereinheit vorgegeben werden und derart gewählt sein, dass über den Zeitraum eine vorbestimmte Druckreduktion im Kryobehälter erfolgt, z.B. um eine gewisse Hold Time zu erzielen, nach welcher das Auslassventil wieder öffnet.

[0026] Das Auslassventil könnte auch ein rein mechanisches Ventil sein, insbesondere ein Nadelventil, welches bevorzugt über eine Leitung mit dem Kryobehälter stromaufwärts der Armatur verbunden ist, wobei die Leitung bevorzugt unmittelbar durch die Armatur geführt ist, und bei Überschreiten eines Schwellwerts des dort anliegenden Drucks öffnet und/oder schließt. Hierbei wird keine Steuereinheit benötigt, sondern die Steuerung des Auslassventils kann rein mechanisch erfolgen, z.B. durch manuelles Betätigen des Auslassventils oder durch analoge Signale an der Leitung.

[0027] An dieser Stelle sei jedoch auch angemerkt, dass die Armatur als innerhalb des Kryobehälters vorgesehenes Überdruckventil ausgeführt werden könnte, jedoch ist der Einbau komplizierter und ein Austausch z.B. im Falle eines Defekts des Überdruckventils mit größerem Aufwand verbunden. Hierbei ist ein weiteres Auslassventil außerhalb des Kryobehälters optional.

[0028] Wie bereits oben erläutert kann die Anschlussleitung als dedizierte Boil-Off-Leitung ausgeführt sein, d.h. ein Überdruckventil oder anderes Auslassventil auf-

weisen und nicht mit einem Verbraucher in Verbindung stehen. Die Boil-Off-Leitung kann nach dem Auslassventil zu einem Boil-Off-Management System geführt sein, dass den ausströmenden Kraftstoff verbrennt um das Gefahrenpotential beim Entweichen in die Atmosphäre reduziert, z.B. wird Wasserstoff zu Wasser oxidiert, bzw. Methan zu CO₂ und Wasser. Alternativ kann die Anschlussleitung jedoch auch außerhalb des Kryobehälters mit einem Verbraucher verbunden sein, z.B. mit einem Motor oder einer Brennstoffzelle. Es kann ein T-Stück in der Anschlussleitung 4 vorgesehen sein, um einerseits ein Überdruckventil in der Anschlussleitung 4 vorzusehen und andererseits um die Anschlussleitung mit einem Verbraucher zu verbinden.

[0029] Die Erfindung kann insbesondere bei Fahrzeugen eingesetzt werden, sodass das Fahrzeug auch ein System in einer der vorgenannten Ausführungsformen umfassen kann, wobei der Kryobehälter bevorzugt an einem Fahrzeugrahmen des Fahrzeugs montiert ist. Die Erfindung ist im Einsatz bei Fahrzeugen besonders vorteilhaft, da durch die effizientere Druckreduktion "Boil-Off-Verluste" reduziert werden können. Durch weitere Maßnahmen kann die Stillstandszeit bis zum Eintreten eines solchen "Boil-Off-Events", die sogenannte "Hold Time" verlängert werden. Beides führt zur Reduktion von Kraftstoffverlusten.

[0030] In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine Verwendung eines Systems in einer der vorgenannten Ausführungsformen mit einem im Kryobehälter gelagerten Kryofluid einer vorbestimmten Zusammensetzung in einem vorbestimmten thermodynamischen Zustand, wobei der Öffnungsquerschnitt der Armatur derart gewählt ist, dass das Kryofluid bei Entnahme an der Armatur expandiert und bevorzugt die Länge der Anschlussleitung zwischen der Armatur und der Anschlussstelle derart gewählt ist, dass die Temperatur des Kryofluids in der Anschlussleitung an der Anschlussstelle im Wesentlichen der Temperatur des Kryofluids außerhalb der Anschlussleitung entspricht. Die Wahl des Öffnungsquerschnitts und der Länge kann insbesondere durch einen Fachmann unter Heranziehung eines Phasendiagramms für das Kryofluid der vorbestimmten Zusammensetzung erfolgen. Nachdem die Temperatur des Kryofluids nach der Expansion bestimmt wurde, kann unter Heranziehung der Wärmeübertragungseigenschaften der Anschlussleitung auch die Länge bestimmt werden.

[0031] Diese und weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Systems werden im Folgenden anhand der Figuren näher erläutert.

Figur 1 zeigt ein erfindungsgemäßes System mit einem Kryobehälter und einer Anschlussleitung, die innerhalb des Kryobehälters eine Drossel aufweist.

Figur 2 zeigt das System von Figur 1 in einer schematischen Ansicht mit geschlossenem Überdruckventil.

Figur 3 zeigt das System von Figur 1 in einer schematischen Ansicht mit geöffnetem Überdruckventil. Figur 4 zeigt eine Variante des erfindungsgemäßen Systems, bei dem das Auslassventil Messdaten von Messeinheiten empfängt.

Figur 5 zeigt eine mögliche Variante zur Verwirklichung der Drossel.

Figur 6 zeigt eine Variante des erfindungsgemäßen Systems mit einer Düse.

Figur 7 zeigt eine weitere Variante des erfindungsgemäßen Systems, bei dem ein Überdruckventil innerhalb des Kryobehälters angeordnet ist.

[0032] Die Figuren 8a und 8b zeigen eine weitere Variante mit einem Ventil in einem ersten Zustand (Figur 8a) und einem zweiten Zustand (Figur 8b).

[0033] Figur 1 zeigt ein System 1 umfassend einen Kryobehälter 2, in welchem Kryofluid im gasförmigen Zustand und/oder flüssigen Zustand gelagert ist. Das Kryofluid kann beispielsweise Wasserstoff sein, sodass der Kryobehälter 2 ein Wasserstoffbehälter ist, oder das Kryofluid kann LNG (Liquefied Natural Gas) sein, sodass der Kryobehälter 2 ein LNG-Behälter ist. Je nach Kryofluid ist der Kryobehälter 2 somit dazu ausgelegt, Kryofluid bei Temperaturen von beispielsweise unter 150 Kelvin, im Fall von Wasserstoff sogar von unter 50 Kelvin oder unter 30 Kelvin oder im Wesentlichen 20 Kelvin, zu lagern. Je nach Anwendung könnte der Kryobehälter 2 beispielsweise zur Lagerung von sLH₂ (subcooled liquid hydrogen) oder CcH₂ (cryo-compressed hydrogen) ausgebildet und damit auch für entsprechende hohe Drücke und zeitweise auch höhere Temperaturen ausgelegt sein, z.B. für Maximaldrücke zwischen 5 bar und 350 bar.

[0034] Der hierin beschriebene Kryobehälter 2 kann z.B. als Kraftstoffbehälter eines nicht weiter dargestellten Fahrzeugs eingesetzt werden und kann zu diesem Zweck beispielsweise am Fahrzeugrahmen des Fahrzeugs montiert werden. Das im Kryobehälter 2 gelagerte Kryofluid kann beispielsweise einem Verbraucher des Fahrzeugs als Kraftstoff zugeführt werden, wie einem Motor oder einer Brennstoffzelle. Der Kryobehälter 2 könnte jedoch auch in anderen Einsatzgebieten verwendet werden, z.B. bei einer Tankstelle oder einem anderen statischen System zur Lagerung von verflüssigtem Stickstoff. Der Kryobehälter 2 kann daher auch ortsfest in der Umgebung verbaut sein.

[0035] Um Kryofluid aus dem Kryobehälter 2 zu entnehmen, entweder um es einem Verbraucher zuzuführen oder um es zur Druckreduktion an die Umwelt auszugeben, ist eine Anschlussleitung 4 in den Kryobehälter geführt und durchsetzt diesen dabei. Bei der hierin beschriebenen Anschlussleitung 4 soll es sich somit ausdrücklich um eine Entnahmeleitung handeln und nicht um eine Befüllleitung, d.h. es befindet sich beispielsweise auch kein Rückschlagventil im Abschnitt der Anschlussleitung 4 zwischen der unten erläuterten Drossel 9 und dem Auslassventil bzw. dem Verbraucher, da das Rückschlagventil Entnahme von Kryofluid aus dem Kryobehälter

behälter 2 verhindern würde.

[0036] Übliche Kryobehälter 2 umfassen einen Innentank 5 und einen gegenüber dem Innentank 5 vakuumisolierten Außenbehälter 6, sodass die Anschlussleitung 4 sowohl den Innentank 5 als auch den Außenbehälter 6 durchsetzen kann. Als Anschlussstelle 7 wird hierin jene Stelle bezeichnet, an der die Anschlussleitung 4 den Kryobehälter 2 durchsetzt, bzw. den Innentank 5 durchsetzt, sofern dieser vorhanden ist.

[0037] Eingangs wird auf den Fall eingegangen, dass die Anschlussleitung 4 dazu vorgesehen ist, bei einem zu großen Druck im Kryobehälter 2 Kryofluid an die Umwelt abzugeben, in welchem Fall die Anschlussleitung 4 umgangssprachlich auch als "Boil-Off-Leitung" bezeichnet werden kann und auch nicht mit einem Verbraucher verbunden sein muss. In diesem Fall ist ein erstes Ende der Anschlussleitung 4 innerhalb des Kryobehälters 2 vorgesehen und ein zweites Ende außerhalb des Kryobehälters 2. Am zweiten Ende ist ein Überdruckventil 8 vorgesehen, das bei einem vorbestimmten Druck im Kryobehälter 2 auslöst und damit die Anschlussleitung 4 öffnet.

[0038] Das genannte Überdruckventil 8 sperrt somit einen Fluidfluss, wenn der Druck im Kryobehälter 2 unter einem Schwellwert liegt und öffnet, wenn der Druck im Kryobehälter 2 den genannten oder einen anderen Schwellwert überschreitet. Dadurch nimmt das Überdruckventil 8 eine überaus kritische Sicherheitsrolle ein, denn es verhindert, dass der Druck im Kryobehälter 2 zu groß wird und der Kryobehälter 2 dadurch beschädigt wird. Der genannte Schwellwert des Überdruckventils 8, an dem Kryofluid an die Umwelt abgegeben werden soll, liegt beispielsweise bei einem sogenannten maximal zulässigen Arbeitsdruck ("maximum allowable working pressure", MAWP) des Kryobehälters 2 und ist von den Eigenschaften des Kryobehälters 2 abhängig. Dieser maximal zulässige Arbeitsdruck liegt beispielsweise bei 16 bar, sodass das Überdruckventil 8 dazu ausgebildet sein kann, ab einem Druck von 16 bar zu öffnen. In der Regel kann der Schwellwert des Überdruckventils 8 jedoch beliebig gewählt werden und kann z.B. von den äußeren Umständen bzw. dem Einsatzzweck abhängig gemacht werden.

[0039] Übliche Anschlussleitungen mit Überdruckventil 8 ermöglichen nur, dass das Kryofluid vom Inneren des Kryobehälters 2 nach außen verbracht wird, d.h. das Volumen an Kryofluid im Kryobehälter 2 wird verringert und die Temperatur im Kryobehälter 2 bleibt im Wesentlichen konstant. Durch den im Folgenden beschriebenen Aufbau der erfindungsgemäßen Anschlussleitung 4 wird das entnommene Kryofluid jedoch auch dazu eingesetzt, um das Kryofluid im Kryobehälter 2 zu kühlen, d.h. sowohl das Volumen als auch die Temperatur des Kryofluid im Kryobehälter soll reduziert werden.

[0040] Dies erfolgt dadurch, dass die Anschlussleitung 4 an jenem Ende, das im Kryobehälter 2 vorliegt, eine Drossel 9 aufweist, an welcher das Kryofluid expandieren kann. Durch das Expandieren des Kryofluids senkt

sich dessen Temperatur und kann so die Anschlussleitung 4 und in der Folge das im Kryobehälter 2 vorliegende Kryofluid kühlen. Um eine annähernd ideale Expansion zu erzielen, soll die Drossel 9 einen möglichst kleinen Öffnungsquerschnitt q_1 aufweisen. In ersten Versuchen hat sich ein Öffnungsquerschnitt q_1 von im Wesentlichen $2500 \mu\text{m}^2$ als vorteilhaft erwiesen. Bevorzugt ist im Allgemeinen ein Öffnungsquerschnitt q_1 von $1 \mu\text{m}^2$ bis 9mm^2 ; besonders bevorzugt ist ein Öffnungsquerschnitt q_1 von $5 \mu\text{m}^2$ bis 1mm^2 . Der Öffnungsquerschnitt q_1 kann jedoch auch in Abhängigkeit des Innenquerschnitts q_2 der Anschlussleitung 4 angegeben werden, wobei der Öffnungsquerschnitt q_1 der Drossel 9 z.B. mindestens 100-mal, bevorzugt 10.000-mal oder 1.000.000-mal, kleiner ist als der Innenquerschnitt q_2 der Anschlussleitung 4 zwischen der Drossel 9 und der Anschlussstelle 7 an den Kryobehälter 2. Wenn die Anschlussleitung 4 einen variablen Durchmesser hat, kann als Innenquerschnitt q_2 der geringste Innenquerschnitt q_2 der Anschlussleitung 4 zwischen der Drossel 9 und der Anschlussstelle 7 an den Kryobehälter 2 angenommen werden.

[0041] Es sei erwähnt, dass hierin von Öffnungsquerschnitten bzw. Innenquerschnitten gesprochen wird, wobei üblicherweise kreisrunde Drosselquerschnitte bzw. Leitungsquerschnitte vorliegen. Die Formen der Querschnittsflächen könnten jedoch auch anders, z.B. oval oder rechteckig, ausgeführt werden.

[0042] Um eine ausreichende Wärmeübertragungstrecke zu bieten, soll die Anschlussleitung 4 zwischen der Drossel 9 und der Anschlussstelle 7 zudem eine vorbestimmte Länge L aufweisen, z.B. mehr als 10 cm, mehr als 30 cm, mehr als 50 cm oder mehr als 100 cm. Die Wahl der Länge L der Anschlussleitung 4 zwischen der Drossel 9 und der Anschlussstelle 7 kann auch optimiert werden, z.B. indem ein Temperaturgradient ermittelt wird und die genannte Länge L derart gewählt wird, dass das expandierte Kryofluid an der Anschlussstelle 7 im Wesentlichen dieselbe Temperatur aufweist wie das im Kryobehälter 2 gelagerte Kryofluid. Wird die vorbestimmte Länge L kürzer gewählt, wird die maximale Wärmeübertragung nicht vollständig ausgenutzt (was erfindungsgemäß jedoch auch umgesetzt werden könnte, wobei in diesem Fall zumindest weiterhin ein gewisser Wärmeaustausch erfolgt. Dies kann insbesondere zur Kühlung eines Wärmeschildes 21 eingesetzt werden, das in Figur 4 dargestellt ist). Wird die vorbestimmte Länge L länger gewählt, wird z.B. das Gesamtgewicht des Systems unnötig erhöht, was insbesondere bei Kryobehältern 2 für Fahrzeuge nachteilig sein kann.

[0043] Um eine vorteilhafte Wärmeübertragung zu bilden, kann die Anschlussleitung 4 über der vorbestimmten Länge L auch zusätzlich besonders ausgestaltet werden, um in diesem Bereich die Oberfläche zu vergrößern. Beispielsweise kann die Anschlussleitung 4 über der vorbestimmten Länge L mit Rippen oder sonstigen oberflächenvergrößernden Strukturen an der Innenseite und/oder Außenseite der Anschlussleitung 4

ausgestaltet sein. Wie in Figur 1 dargestellt kann die Anschlussleitung 4 innerhalb des Kryobehälters auch mäanderförmig, d.h. nicht geradlinig, geführt sein, sodass die vorbestimmte Länge L einfach im Kryobehälter 2 aufgenommen werden kann.

[0044] Das erfindungsgemäße Konzept der zusätzlichen Wärmeübertragung nach der Expansion durch die Drossel 9 wird nun im Folgenden anhand der Figuren 2 und 3 näher erläutert.

[0045] Figur 2 zeigt einen Zustand, bei dem das Überdruckventil 8 über einen längeren Zeitraum geschlossen war, sodass sich ein Gleichgewicht im System eingestellt hat. Hierbei liegt im Kryobehälter 2 Kryofluid mit einer Temperatur T1 vor. Durch den Gleichgewichtszustand liegt auch innerhalb der Anschlussleitung 4 Kryofluid mit der Temperatur T1 vor. Es kommt daher zu keinem Wärmeübergang zwischen dem Kryofluid innerhalb der Anschlussleitung 4 und außerhalb der Anschlussleitung 4. Weiters liegt derselbe Druck p1 innerhalb und außerhalb der Anschlussleitung 4 vor. Außerhalb des Kryobehälters 2 und außerhalb der Anschlussleitung 4, d.h. in der Umgebung, liegt jedoch ein Umgebungsdruck p2 vor (in der Regel ein Luftdruck von ca. 1 bar), der geringer ist als der Druck p1 im Kryobehälter 2.

[0046] Figur 3 zeigt den Zustand unmittelbar bzw. einen kurzen Zeitraum nach dem Auslösen des Überdruckventils 8, z.B. da der Druck p2 im Kryobehälter 2 zu groß wurde und das Überdruckventil 8 aus diesem Grund öffnete. Durch das relativ geringe Volumen innerhalb der Anschlussleitung 4 wird in kürzester Zeit das in der Anschlussleitung 4 vorliegende Kryofluid an die Umgebung abgeführt. Die Drossel 9 verhindert jedoch ein rasches Nachfließen von Kryofluid in die Anschlussleitung 4, sodass innerhalb der Anschlussleitung 4 nun im Wesentlichen der Umgebungsdruck p2 vorliegen wird.

[0047] Durch die genannte Zustandsänderung kommt es dazu, dass an der Drossel 9 ein großer Druckgradient vorliegt, da an der Drossel 9 stromaufwärts ein Druck p1 (z.B. 16 bar) und stromabwärts der Drossel 9 ein Druck p2 (z.B. 1 bar) vorliegen wird. Die Begriffe "stromaufwärts" und "stromabwärts" beziehen sich hierbei auf die Richtung bei der Entnahme von Kryofluid. Dadurch kommt es zu einer Expansion des Kryofluids, wenn es durch die Drossel 9 fließt. Gleichzeitig kommt es durch die Expansion zu einer Reduktion der Temperatur. In anderen Worten wird das Kryofluid an der Drossel 9 stromaufwärts eine Temperatur T1 aufweisen, mit denen das Kryofluid auch an allen anderen Stellen um die Anschlussleitung 4 herum vorliegen wird. Nach der Expansion wird das Fluid an der Drossel 9 stromabwärts eine Temperatur T2 aufweisen, die geringer ist als die Temperatur T1. Die genaue, absolute Größe der Temperatur T2, die das Kryofluid nach der Expansion aufweisen wird, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab, wie z.B. der Druckdifferenz p1-p2 und dem Kryofluid (z.B. kann die Temperaturänderung für Wasserstoff anders sein als für LNG). Wenn eine exakte Berechnung der Temperatur T2 durchgeführt werden soll, kann der Fachmann hierfür ein

Zustandsdiagramm (Phasendiagramm) heranziehen.

[0048] Der genannte Effekt ist in der Theorie bei einer idealen Drossel 9 als Joule-Thomson-Effekt bekannt, der wiederum unter die Kategorie der isenthalpen Prozesse fällt. Es soll jedoch festgehalten werden, dass bei der Erfindung gegebenenfalls auch weitere Prozesse miteinfließen können, insbesondere da die vorliegenden Gase nicht als ideale Gase vorliegend werden und auch Zustandsänderungen und Strömungsprozesse vorliegen können, insbesondere wenn stromaufwärts an der Drossel 9 flüssiges Kryofluid vorliegt. Die Nutzung der Anschlussleitung 4 bzw. der Drossel 9 kann auf Zustände des Kryofluids im Kryobehälter 2 beschränkt werden, von denen ausgehend ein Druckabfall eine Abkühlung des expandierten Fluids bewirkt, z.B. aufgrund des Joule-Thomson-Effekts.

[0049] Wenn nun das Kryofluid stromabwärts der Drossel 9 mit der Temperatur T2 vorliegt, kommt es aufgrund des Wärmegradienten $T_2 < T_1$ an dieser Stelle der Anschlussleitung 4 zu einem Wärmeübergang. In anderen Worten kann das nun expandierte Kryofluid das im Kryobehälter 2 vorliegende Kryofluid weiter kühlen, wodurch der Druck im Kryobehälter 2 nicht nur durch die Volumensreduktion, sondern auch durch eine zusätzliche Wärmeabfuhr gesenkt werden kann. Durch die Drossel 9 wird das Überdruckventil 8 früher schließen als bei einem vergleichbaren System ohne Drossel 9, da der Druck mit einer geringeren Volumensentnahme gesenkt werden kann. Es wird daher in Summe auch weniger Kryofluid an die Umwelt abgegeben.

[0050] Es versteht sich, dass das nun in der Anschlussleitung 4 vorliegende, expandierte Kryofluid durch den Wärmeübergang wieder erwärmt wird, sodass es nach einer gewissen Wegstrecke L_i eine Temperatur T_i aufweisen wird, die zwischen der Temperatur T2 unmittelbar nach der Expansion und der Temperatur T1 des Kryofluids im Kryobehälter 2 liegt, d.h. $T_2 < T_i < T_1$. Nach einer weiteren Wegstrecke L_x wird die Temperatur T_i des Kryofluids in der Anschlussleitung 4 im Wesentlichen der Temperatur T1 des Kryofluids im Kryobehälter 2 entsprechen. Diese Wegstrecke L_x , nach der die Temperatur T_i des Kryofluids in der Anschlussleitung 4 zum ersten Mal im Wesentlichen der Temperatur T1 des Kryofluids im Kryobehälter 2 entspricht, wäre eine optimale Länge für die vorbestimmte Länge. Es ist ersichtlich, dass es nach der Länge L_x zu keiner weiteren Wärmeübertragung kommt, da kein Temperaturgradient vorliegen wird. Bevorzugt entspricht die Länge L daher der optimalen Länge L_x .

[0051] Das oben beschriebene Überdruckventil 8 kann auf verschiedenste Arten umgesetzt werden. Wenn das Überdruckventil ein rein mechanisches Überdruckventil mit einem durch eine Feder vorgespannten Verschlusskörper ist, löst das Überdruckventil 8 beispielsweise aus, wenn eine Druckdifferenz an den beiden Seiten des Überdruckventils 8 einen Schwellwert S überschreitet und wieder schließen, wenn die Druckdifferenz an den beiden Seiten des Überdruckventils 8 den genannten

Schwellwert S unterschreitet. Bei einem derartigen "simplen" Überdruckventil 8 kann es jedoch zu einem Stottern kommen, sodass in einer ersten Variante angedacht werden könnte, dass es einen oberen Schwellwert S1 und einen unteren Schwellwert S2 gibt, wobei $S1 > S2$. Dieses "verbesserte" Überdruckventil 8 kann auslösen (d.h. öffnen), wenn eine Druckdifferenz an den beiden Seiten des Überdruckventils 8 den oberen Schwellwert S1 überschreitet und erst dann wieder schließen, wenn die Druckdifferenz an den beiden Seiten des Überdruckventils 8 den unteren Schwellwert S2 unterschreitet. Derartige Lösungen sind für reguläre Überdruckventil 8 (ohne Drossel 9) durchaus zielführend, da an der Innenseite des Überdruckventils 8 in der Regel der tatsächliche Druck des Kryofluids im Kryobehälter 2 vorliegen wird.

[0052] In Kombination mit der erfindungsgemäßen Lösung kann es jedoch auch bei dem genannten verbesserten Überdruckventil 8 mit zwei Schwellwerten S1, S2 zu einem Stottern kommen, da durch die Drossel 9 an beiden Seiten des Überdruckventils 8 nach kurzer Zeit im Wesentlichen der Umgebungsdruck p_2 vorliegen wird. Es ist schwer möglich, den unteren Schwellwert S2 genau zu setzen, um einen ordnungsgemäßen Betrieb des Überdruckventils 8 ohne Stottern zu ermöglichen.

[0053] Figur 4 zeigt, dass anstelle eines klassischen mechanischen Überdruckventils 8 wie bei den Figuren 2 und 3 auch ein durch Sensoren angesteuertes Auslassventil 8' zum Einsatz kommen könnte, welches bei der erfindungsgemäßen Lösung ein Stottern effektiv unterbinden kann. In wieder anderen Ausführungsformen könnte das Auslassventil auch manuell betätigbar sein. All diese Varianten ermöglichen, den Fluidstrom von Kryofluid aus dem Kryobehälter 2 zu regeln, wird allgemein von einem Auslassventil gesprochen, unabhängig davon, ob es sich um ein Überdruckventil 8, ein durch Sensoren angesteuertes Auslassventil 8' oder um ein manuell betätigbares Auslassventil handelt.

[0054] In der dargestellten Variante empfängt das Auslassventil 8' Messwerte einer Druckmesseinheit 10, die dazu ausgebildet ist, den Druck des Kryofluids im Kryobehälter 2 zu messen (d.h. den Druck des Kryofluids stromaufwärts der Drossel 9). Beispielsweise kann das Auslassventil 8 öffnen, wenn der anhand der Druckmesseinheit 10 gemessene Druck im Kryobehälter 2 einen oberen Schwellwert S1 überschreitet und erst dann wieder schließen, wenn anhand der Druckmesseinheit 10 gemessene Druck im Kryobehälter 2 einen unteren Schwellwert S2 unterschreitet.

[0055] Wenn gewünscht, kann der Umgebungsdruck mittels einer eigenen Druckmesseinheit 11 gemessen werden und das genannte Öffnen und Schließen auf Basis einer Druckdifferenz von gemessenen Innendruck zu gemessenen Umgebungsdruck erfolgt. Wie zuvor erläutert ist dies jedoch nicht notwendig, da das Öffnen und Schließen des Auslassventils 8' auch auf Basis der Absolutwerte der erstgenannten Druckmesseinheit 10 erfolgen kann. Weiters könnte das Auslösen des Über-

druckventils aus Sicherheitsgründen weiterhin mechanisch erfolgen, d.h. aufgrund einer unmittelbar am Auslassventil 8' vorliegenden Druckdifferenz.

[0056] Figur 4 zeigt weiters eine Ausführungsform, bei der alternativ oder zusätzlich zur Druckmesseinheit 10, 11 eine Temperaturmesseinheit 20 zum Einsatz kommt. Die Temperaturmesseinheit 20 kann beispielsweise die Temperatur eines Wärmeschilds 21 messen, das beispielsweise im vakuumisolierten Raum zwischen dem Innentank 5 und dem Außenbehälter 18 angeordnet ist. Das Auslassventil 8' kann die Messdaten der Temperaturmesseinheit 20 empfangen und das Öffnen und/oder Schließen des Auslassventils 8' auf Basis der empfangenen Messwerte der Temperaturmesseinheit 20 veranlassen. Eine beispielhafte Steuerung kann wie folgt implementiert sein. Das Auslassventil 8' öffnet, wenn der Druck im Kryobehälter 2 einen vordefinierten Schwellwert erreicht (was wie zuvor beschrieben durch eine unmittelbar am Auslassventil 8' anliegende Druckdifferenz oder durch die Druckmesseinheit 20 ermittelt werden kann). Das Schließen erfolgt erst dann, wenn die Temperatur des Wärmeschilds 21 einen vordefinierten Schwellwert erreicht, der z.B. im Wesentlichen der Temperatur des Kryofluids im Kryobehälter 2 entsprechen kann. Zur Vollständigkeit sei angemerkt, dass derartige Wärmeschilde an sich bekannt sind, z.B. aus der EP 2 981 756 A1. In weiteren Ausführungsformen könnte die Temperaturmesseinheit 20 auch die Temperatur an einer anderen Stelle messen, z.B. an der Anschlussleitung 4 zwischen dem Innentank 5 und dem Außenbehälter 6 oder außerhalb des Kryobehälters 2 in einem vorbestimmten Abstand zum Außenbehälter 6.

[0057] Eine weitere Ausgestaltung des Auslassventils 8', das in Kombination mit der erfindungsgemäßen Drossel 9 ohne Stottern funktioniert, ist mithilfe einer Zeitschalteinrichtung 22 möglich. Hierbei löst das Auslassventil 8' aus, wenn eine Druckdifferenz an den beiden Seiten des Auslassventils 8' einen Schwellwert S überschreitet, d.h. das Auslassventil 8' kann zur Differenzdruckmessung standardgemäß ausgebildet sein und es wird keine Druckmesseinheit 10 zur Messung des Drucks des Kryofluids im Kryobehälter benötigt, wobei dies jedoch auch vorgesehen sein könnte. Das Schließen des Auslassventils 8' erfolgt hierbei nicht durch eine Druckschwellwertunterschreitung, sondern nach einer vorgegebenen Zeitspanne, die z.B. an der Zeitschalteinrichtung 22 eingestellt werden kann. Beispielsweise schließt das Auslassventil 8' zwischen 5 Sekunden und 5 Minuten nach dem Öffnen. Die Zeitspanne, nach der eine ausreichende Druckreduktion stattgefunden hat, kann durch Versuche oder auch analytisch bestimmt werden.

[0058] An dieser Stelle sei angemerkt, dass das Auslassventil 8' rein mechanisch ausgebildet sein kann (z.B. mit einem durch eine Feder vorgespannten Verschlusslements) oder auch elektromechanisch, insbesondere wenn das Auslassventil 8' Messdaten von einem oder mehreren Messeinheiten empfängt. In diesem Zusam-

menhang kann das Auslassventil 8' auch eine Steuereinheit umfassen oder mit einer Steuereinheit verbunden sein.

[0059] Weiters sei angemerkt, dass die genannten Varianten einzeln vorgesehen oder kombiniert werden können, z.B. indem ein einziges Auslassventil 8' mit einer oder mehreren der folgenden Komponenten verbunden ist: eine erste Druckmesseinheit 10 zur Messung des Drucks im Kryobehälter 2, eine zweite Druckmesseinheit 11 zur Messung des Umgebungsdrucks, eine Temperaturmesseinheit 20 und/oder eine Zeitschalteneinrichtung 22. Es könnte auch vorgesehen sein, dass zwei oder mehr Auslassventile parallel zueinander an der Anschlussleitung 4 vorgesehen sind, sodass zumindest eines der Auslassventile auslösen kann, wenn andere Auslassventile versagen. Beispielsweise könnte ein T-Stück an der Anschlussleitung 4 angeschlossen sein und ein erstes angesteuertes Auslassventil 8' mit Druckmesseinheit 10 ist an einem ersten Ausgang des T-Stücks angeschlossen und ein zweites rein mechanisches Überdruckventil 8, welches aufgrund einer an diesem vorliegenden Druckdifferenz auslöst, ist an einem zweiten Ausgang des T-Stücks angeschlossen.

[0060] Wie in Figur 5 dargestellt könnte die Drossel 9 beispielsweise dadurch ausgebildet sein, dass eine Bohrung in der Außenwand der Anschlussleitung 4 vorgesehen ist. In diesem Fall bildet die Wandstärke der Anschlussleitung 4 die Drossellänge. Bei dieser Variante wird üblicherweise ein Pfropfen 4' in der Anschlussleitung 4 vorgesehen, der diese plan verschließt. Alternativ könnte sich die Bohrung auch im Pfropfen 4' befinden und nicht in der Anschlussleitung 4.

[0061] Zwar wurde bislang davon gesprochen, dass eine der erfindungsgemäße Effekt der zusätzlichen Wärmeübertragung durch das expandierte Kryofluid durch eine Drossel 9 bewirkt wird, jedoch könnten auch andere Armaturen vorgesehen werden, um diesen Effekt zu erreichen. Beispielsweise zeigt Figur 6, dass auch eine Düse wie eine Lavaldüse eingesetzt werden könnte. Eine Lavaldüse ist besonders vorteilhaft, da Massenströme mit Überschallgeschwindigkeiten erzielt werden können. Aus dem Vergleich der Detailansichten aus den Figuren 1 und 6 ist zudem der Unterschied zwischen einer Drossel 9 und einer Düse 9' gut ersichtlich. Eine Drossel 9 hat in Längsrichtung eine konstante Kontur und damit nur einen einzigen Öffnungsquerschnitt. Eine Düse 9' hat hingegen eine in Längsrichtung variable (aber zeitlich konstante) Kontur, wobei der engste Bereich als Öffnungsquerschnitt angesehen wird, insbesondere hinsichtlich der hierin beschriebenen Größenordnungen. Die Armatur könnte beispielsweise auch eine Blende sein, worunter eine Drossel 9 mit einer Drossellänge von beispielsweise $< 0,5$ mm verstanden wird. Die hierin beschriebene Drossel könnte beispielsweise eine Drossellänge vom 0,5 mm bis 3 cm aufweisen oder auch noch länger ausgeführt sein. In einer weiteren Variante könnte die Armatur auch eine Turbine sein. In allen vorgenannten Ausführungsformen könnte die Drossel 9 auch durch

eine andere Armatur wie eine Blende, eine Düse, ein Ventil (insbesondere ein Überdruckventil) oder eine Turbine ersetzt werden.

[0062] Figur 7 zeigt eine weitere Variante der Erfindung, bei der es zu keinem Stottern kommt. Das Überdruckventil 8 wird nicht wie in den Ausführungsformen der Figuren 1 bis 4 dargestellt außerhalb des Kryobehälters 2 vorgesehen, sondern im Inneren des Kryobehälters 2 ("innerhalb" und "außerhalb" beziehen sich hierbei auf die Anschlussstelle 7). Das Überdruckventil 8 kann hierbei selbst eine Armatur mit veränderbarem Querschnitt bilden und einen ersten Zustand einnehmen, in dem sie die Anschlussleitung 4 schließt und einen zweiten Zustand einnehmen, in dem sie die Anschlussleitung 4 freigibt, jedoch nur mit einer geringen Größe, die dem genannten Öffnungsquerschnitt entspricht. Das Überdruckventil 8 kann wie oben erläutert mit einem oder zwei Schwellwerten ausgeführt werden. Vorteilhaft ist, dass keine zusätzlichen Maßnahmen für das Überdruckventil 8 wie eine Zeitschalteneinrichtung 22 oder zusätzlichen Messeinheiten getroffen werden müssen. Nachteilig ist jedoch, dass ein derartiges Überdruckventil 8 im Inneren des Kryobehälters 2 schwer zu montieren ist und auch nur mit viel Aufwand auswechselbar ist.

[0063] Die Erfindung ist jedoch nicht auf Boil-Off-Leitungen beschränkt, bei der Kryofluid an die Umgebung abgegeben werden soll, damit ein Höchstdruck nicht überschritten wird. Wie oben bereits erwähnt kann die Anschlussleitung 4 auch Teil einer Entnahmeleitung sein, die zu einem Verbraucher geführt ist. Auch in diesem Fall könnte eine starre Drossel 9 wie in den Figuren 1 bis 4 eingesetzt werden, jedoch ist bevorzugt, wenn als Armatur ein Ventil 9" mit veränderbarem Querschnitt eingesetzt wird, wie in den Figuren 8a und 8b dargestellt ist. Es sei hervorgehoben, dass das in den Figuren 8a und 8b dargestellte Ventil 9" nur schematisch dargestellt ist und der tatsächliche Aufbau anders aussehen kann.

[0064] Figur 8a zeigt das Ventil 9" mit veränderbarem Querschnitt, wobei sich das Ventil 9" in einem Zustand (d.h. in einer ersten Betriebsstellung) befindet, in dem es einen ersten Öffnungsquerschnitt q_1 aufweist. In Figur 8b ist das Ventil 9" in einem zweiten Zustand (d.h. in einer zweiten Betriebsstellung) dargestellt, in dem es einen zweiten Öffnungsquerschnitt q_x aufweist. Der erste Öffnungsquerschnitt q_1 ist derart klein, dass eine Expansion des Kryofluids wie oben für die starre Drossel 9 der Figuren 1 bis 4 erläutert stattfinden kann. Der zweite Öffnungsquerschnitt q_x ist beispielsweise mindestens 10-mal, bevorzugt 100-mal oder 1000-mal, größer als der erste Öffnungsquerschnitt q_1 und hat das Ziel, dass der Strömungswiderstand minimiert wird. Das Ventil 9" kann z.B. mittels einer Steuerleitung 12 (oder auch kabellos) mit einer Steuereinheit 13 verbunden sein, welche das Ventil 9" ansteuern kann, um dieses vom ersten Zustand in den zweiten Zustand bzw. vom zweiten Zustand in den ersten Zustand zu versetzen. Anstelle einer Steuereinheit 13 könnte das Ventil 9" auch manuell verstellt werden, z.B. mittels eines manuell betätigbaren

Schalters.

[0065] Bei dieser Ausführungsform wird der erste Öffnungsquerschnitt q_1 eingestellt, wenn die genannte Drosselwirkung erzielt werden soll. In diesem Zustand kann im Wesentlichen dieselbe Funktion wie oben erläutert erzielt werden, wenn z.B. ein Überdruckventil 8 mittels eines T-Stücks 14 im Entnahmepfad angeordnet wird, das Kryofluid an die Umgebung abgeben kann. Das Ventil 9" kann beispielsweise in den ersten Zustand versetzt werden, wenn kein Kryofluid aktiv aus dem Kryobehälter 2 entnommen werden soll.

[0066] Für eine aktive Entnahme von Kryofluid aus dem Kryobehälter 2, d.h. wenn Kryofluid in Richtung des Verbrauchers V fließen soll, soll die Anschlussleitung 4 jedoch einen möglichst geringen Strömungswiderstand aufweisen, sodass das Ventil 9" bei einer aktiven Entnahme in den zweiten Zustand versetzt werden soll. Im zweiten Zustand wird das Ventil 9" daher bevorzugt maximal geöffnet, sodass sie auch den Querschnitt der Anschlussleitung 4 vollständig freigeben kann.

[0067] Vorteilig gegenüber der Varianten der Figuren 1 bis 4 ist, dass zur Entnahme keine gesonderte Rohrleitung in den Kryobehälter 2 geführt werden muss, wodurch eine Wärmebrücke weniger vorliegt. Nachteilig ist jedoch, dass das Ventil 9" angesteuert werden sollte, um den Strömungswiderstand zu reduzieren.

[0068] Zusätzlich zu den Zuständen in den Figuren 8a und 8b kann das Ventil 9" auch optional in einen dritten Zustand versetzt werden, bei dem das Ventil 9" vollständig geschlossen ist. Alternativ hierzu könnte jedoch auch ein Ventil in der Anschlussleitung 4 vorgesehen sein, dass sich außerhalb des Kryobehälters 2 in der Anschlussleitung 4 befindet, um einen Fluidfluss abzusperren.

[0069] Es versteht sich, dass das Ventil 9" auch alle Zustände zwischen dem ersten und dem zweiten Zustand einnehmen kann, d.h. kontinuierlich verstellbar ist.

[0070] Das genannte Ventil 9" könnte beispielsweise auch dadurch gebildet werden, dass eine Drossel mit dem genannten Öffnungsquerschnitt q_1 und ein Ein/Aus-Ventil parallelgeschaltet sind. Im geschlossenen Zustand des Ein/Aus-Ventils fließt der gesamte Massenstrom über die Drossel, wodurch die genannte Expansion und die damit einhergehende Temperaturreduktion des entnommenen Kryofluids erzielt wird. Wenn das Ein/Aus-Ventils jedoch geöffnet wird, wird im Wesentlichen der gesamte Massenstrom an Kryofluid über das Ein/Aus-Ventil fließen, da dies einen geringeren Strömungswiderstand als die Drossel aufweist.

[0071] Die vorab beschriebene Steuereinheit 13 könnte, gegebenenfalls in Kombination mit einer der zuvor beschriebenen Ansteuerungen über einen gemessenen Druck, Temperatur oder Zeit, auch mit dem Ventil 9" verbunden sein. Hierbei kann die Steuereinheit 13 weiterhin mit dem zuvor beschriebenen Auslassventil 8 verbunden sein, wobei dies jedoch nicht zwingend ist. Die Steuereinheit 13 kann beispielsweise den Druck aus dem Kryobehälter 2 empfangen und das Ventil 9" derart

ansteuern, dass der Druck im Kryobehälter 2 im Wesentlichen konstant bleibt. Z.B. kann das Ventil 9" so lange geschlossen bleiben, bis der Druck im Kryobehälter einem Soll-Boil-Off-Druck entspricht und dann öffnen.

Nach dem Öffnen beträgt der Öffnungsquerschnitt q_1 des Ventil 9" beispielsweise zwischen $1 \mu\text{m}^2$ bis 9mm^2 . Nun kann die Steuereinheit 13 den Öffnungsquerschnitt q_1 innerhalb des Bereichs $1 \mu\text{m}^2$ bis 9mm^2 (oder eines Teilbereichs davon) regeln, sodass der Druck im Kryobehälter konstant bleibt. Alternativ oder zusätzlich kann die Steuereinheit 13 das Ventil 9" auch anders ansteuern, z.B. um den Behälterdruck stetig abzusenken und/oder um ein Kühlschild auf eine gewünschte Temperatur abzukühlen, wonach das Ventil 9" wieder geschlossen werden kann.

[0072] In allen vorgenannten Ausführungsformen kann die Anschlussleitung 4 entweder zur Entnahme von flüssigem Kryofluid oder gasförmigen Kryofluid vorgesehen sein. Zur Entnahme von flüssigem Kryofluid ist das im Kryobehälter 2 befindliche Ende der Anschlussleitung 4 üblicherweise in der unteren Hälfte, insbesondere im unteren Viertel, des Kryobehälters 2 angeordnet. Zur Entnahme von gasförmigen Kryofluid ist das im Kryobehälter 2 befindliche Ende der Anschlussleitung 4 üblicherweise in der oberen Hälfte, insbesondere im oberen Viertel, des Kryobehälters 2 angeordnet.

[0073] Es sei festgehalten, dass auch mehrere Anschlussleitungen 4 in den Kryobehälter 2 geführt sein könnten, welche eine Drossel 9 oder eine andere entsprechende Armatur aufweist. Es können beispielsweise zwei Anschlussleitungen 4 vorgesehen sein, die jeweils eine der genannten Armaturen aufweist, wobei eine zur Entnahme von flüssigem Kryofluid und eine zur Entnahme von gasförmigem Kryofluid vorgesehen ist.

Patentansprüche

1. System (1) umfassend einen Kryobehälter (2) zur Lagerung von Kryofluid und eine in den Kryobehälter (2) geführte Anschlussleitung (4) zur Entnahme von Kryofluid aus dem Kryobehälter (2),
dadurch gekennzeichnet, dass

die Anschlussleitung (4) innerhalb des Kryobehälters (2) eine Armatur, insbesondere eine Drossel (9), eine Blende, eine Düse (9'), ein Ventil (9") oder eine Turbine, aufweist, wobei die Armatur dauerhaft oder in zumindest einer Betriebsstellung einen Öffnungsquerschnitt (q_1) aufweist, der mindestens 100-mal, bevorzugt 10.000-mal oder 1.000.000-mal, kleiner ist als ein Innenquerschnitt (q_2) der Anschlussleitung (4) stromabwärts der Armatur in Entnahmerichtung, wobei die Anschlussleitung (4) zwischen der Armatur und der Anschlussstelle (7) an den Kryobehälter (2) mit einer vorbestimmten Länge

- (L) geführt ist, die bevorzugt länger als 50 cm ist.
2. System nach Anspruch 1, wobei der genannte Öffnungsquerschnitt (q_1) eine Größe von $1 \mu\text{m}^2$ bis 9mm^2 , besonders bevorzugt von $25 \mu\text{m}^2$ bis 1mm^2 , aufweist. 5
 3. System nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Anschlussleitung (4) zwischen der Armatur und der Anschlussstelle (7) an den Kryobehälter (2) mit einer Länge von 1 m bis 3 m geführt ist. 10
 4. System nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Anschlussleitung (4) innerhalb des Kryobehälters (2) mäandert förmig geführt ist und/oder wobei die Anschlussleitung (4) innerhalb des Kryobehälters (2) oberflächenvergrößernde Strukturen, insbesondere Kühlrippen, aufweist. 15
 5. System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Armatur eine Drossel (9) mit einer Drossellänge von bevorzugt zumindest 1 mm ist und durch eine Bohrung durch eine Rohrwand der Anschlussleitung (4) gebildet ist. 20
 6. System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Armatur eine Düse (9') ist, welche als Lavaldüse ausgebildet ist. 25
 7. System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Armatur ein Ventil (9'') ist, welches einen veränderlichen Öffnungsquerschnitt (q_1 , q_x) aufweist, wobei das Ventil (9'') von der ersten Betriebsstellung, in dem es den erstgenannten Öffnungsquerschnitt (q_1) aufweist, der mindestens 100-mal, bevorzugt 10.000-mal oder 1.000.000-mal, kleiner ist als der Innenquerschnitt (q_2) der Anschlussleitung (4) zwischen dem Ventil (9'') und der Anschlussstelle (7) an den Kryobehälter (2), in eine zweite Betriebsstellung versetzbar ist, in dem das Ventil (9'') einen zweiten Öffnungsquerschnitt (q_x) aufweist, der mindestens 100-mal, bevorzugt 10.000-mal oder 1.000.000-mal, größer ist als der erstgenannte Öffnungsquerschnitt (q_1), wobei das System bevorzugt eine mit dem Ventil (9'') verbundene Steuereinheit (13) umfasst, welche Druckmesswerte einer im Kryobehälter (2) angeordneten Druckmesseinheit (10) erhält und dazu ausgebildet ist, den Öffnungsquerschnitt des Ventils (9'') derart anzusteuern, dass der Druck im Kryobehälter im Wesentlichen konstant bleibt. 30
35
40
45
50
 8. System nach einem der Ansprüche 1 bis 7, ferner umfassend ein Auslassventil (8, 8'), welches außerhalb des Kryobehälters (2) in der Anschlussleitung (4) vorgesehen ist. 55
 9. System nach Anspruch 8, wobei das Auslassventil (8) ein Überdruckventil ist, welches dazu ausgebildet ist, bei Vorliegen eines vorbestimmten Druckes oder einer vorbestimmten Druckdifferenz zu öffnen, um Kryofluid aus dem Kryobehälter (2) an die Umwelt abzugeben.
 10. System nach Anspruch 8 oder 9, wobei das Auslassventil (8) ein mechanisches Ventil, insbesondere ein Nadelventil ist, welches über eine Leitung mit dem Kryobehälter stromaufwärts der Armatur verbunden ist, wobei die Leitung bevorzugt unmittelbar durch die Armatur geführt ist, und bei Überschreiten eines Schwellwerts des dort anliegenden Drucks öffnet und/oder schließt.
 11. System nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei das Auslassventil (8') Druckmesswerte einer im Kryobehälter (2) angeordneten Druckmesseinheit (10) erhält und auf Basis der erhaltenen Druckmesswerte öffnet und/oder schließt oder wobei das Auslassventil (8') Temperaturmesswerte einer Temperaturmesseinheit (20) erhält, welche bevorzugt die Temperatur eines Wärmeschildes (21) misst, wobei das Auslassventil (8') auf Basis der erhaltenen Temperaturmesswerte öffnet und/oder schließt.
 12. System nach einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei das Auslassventil (8') mit einer Zeitschalteinrichtung (22) ausgestattet und dazu ausgebildet ist, nach dem Öffnen erst nach einem vorbestimmten Zeitraum wieder zu schließen.
 13. System nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Anschlussleitung (4) außerhalb des Kryobehälters (2) mit einem Verbraucher verbunden ist.
 14. Fahrzeug, umfassend ein System (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei der Kryobehälter (2) bevorzugt an einem Fahrzeugrahmen des Fahrzeuges montiert ist.
 15. Verwendung eines Systems (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 mit einem im Kryobehälter (2) gelagerten Kryofluid einer vorbestimmten Zusammensetzung in einem vorbestimmten thermodynamischen Zustand, wobei der Öffnungsquerschnitt (q_1) der Armatur derart gewählt ist, dass das Kryofluid bei Entnahme an der Armatur expandiert und bevorzugt die Länge der Anschlussleitung (4) zwischen der Armatur und der Anschlussstelle (7) derart gewählt ist, dass die Temperatur des Kryofluids in der Anschlussleitung (4) an der Anschlussstelle (4) im Wesentlichen der Temperatur des Kryofluids im Kryobehälter (2) außerhalb der Anschlussleitung (4) entspricht.

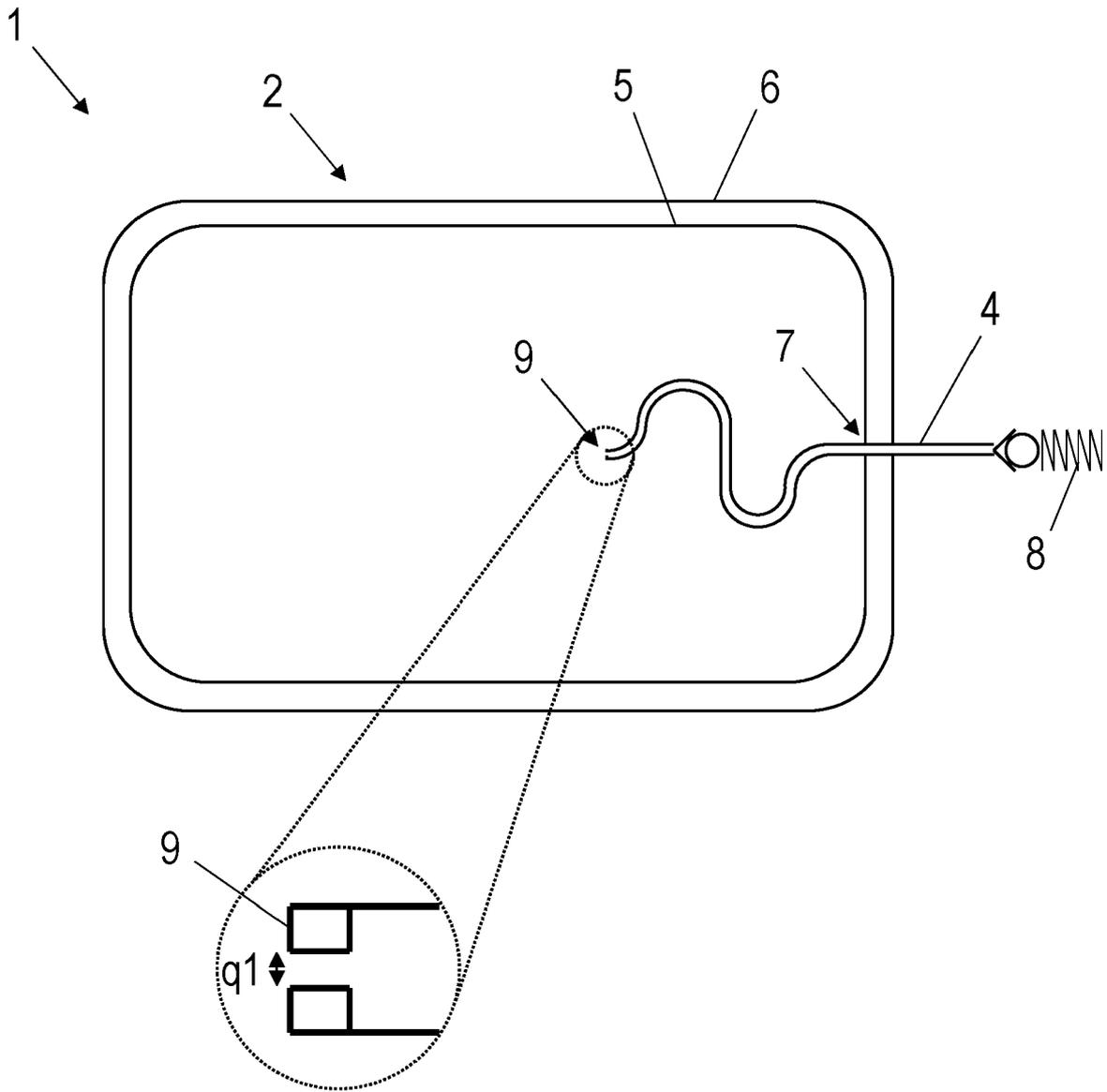


Fig. 1

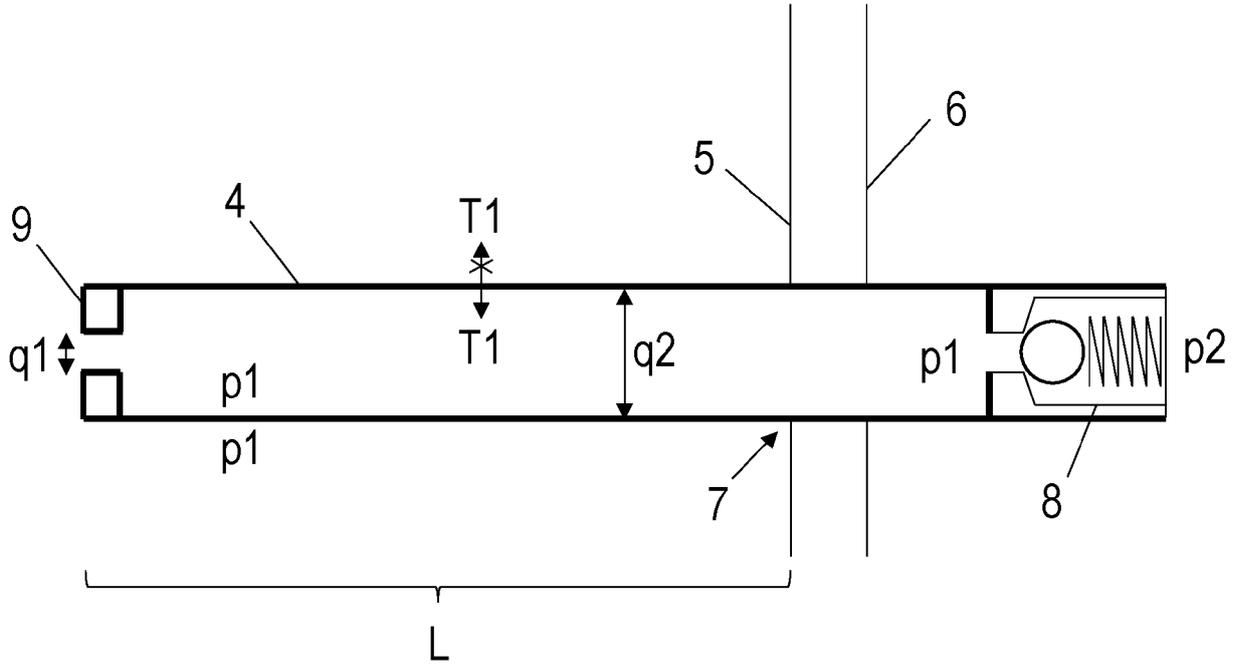


Fig. 2

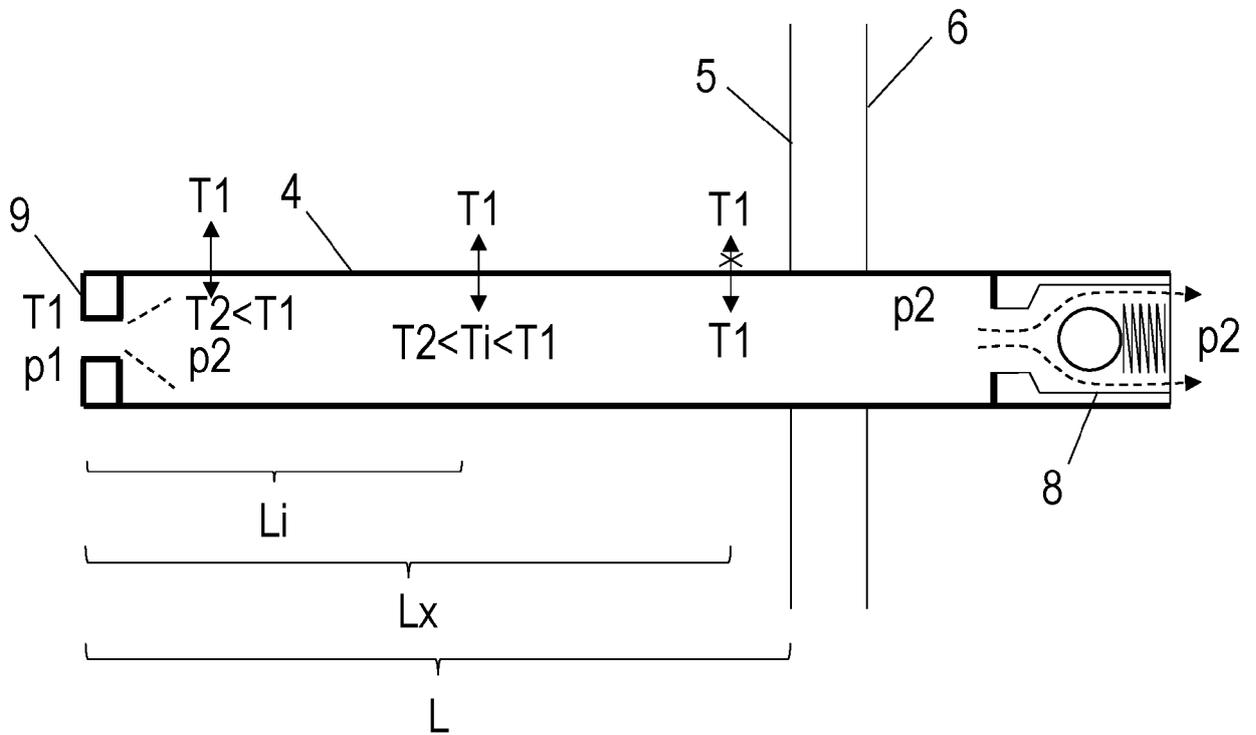
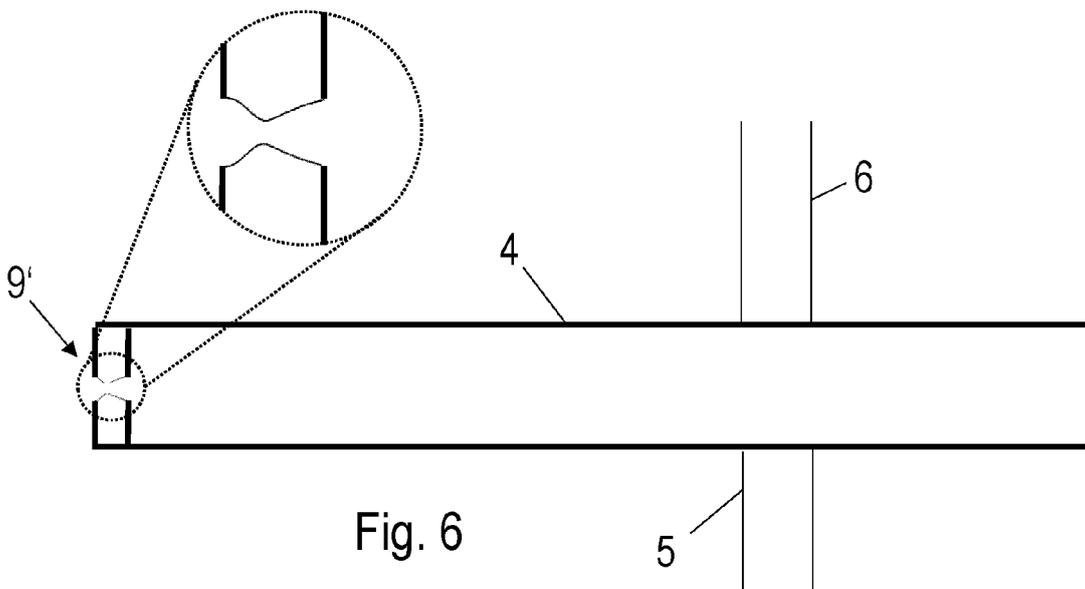
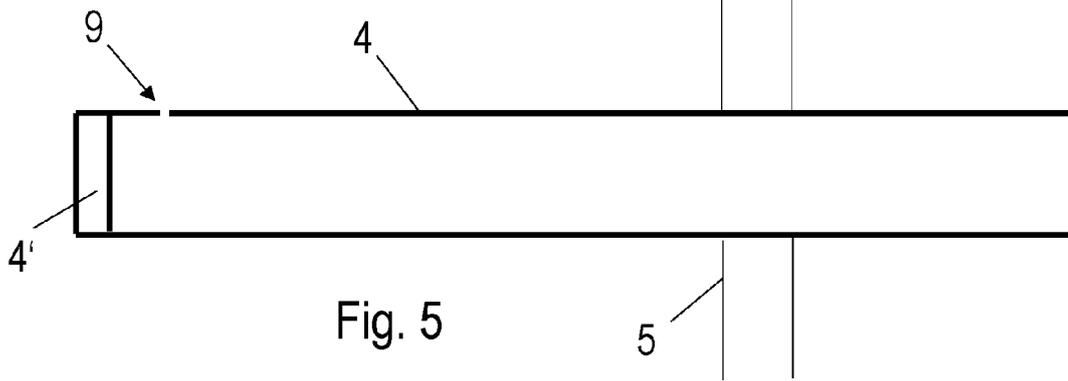
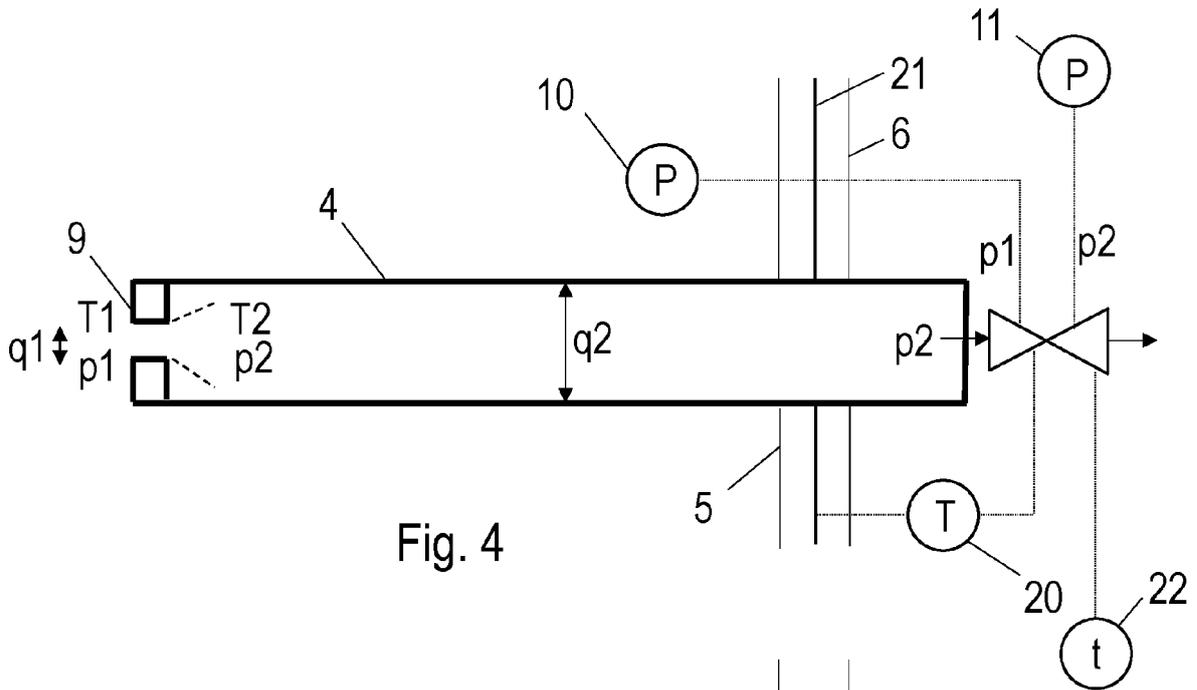


Fig. 3



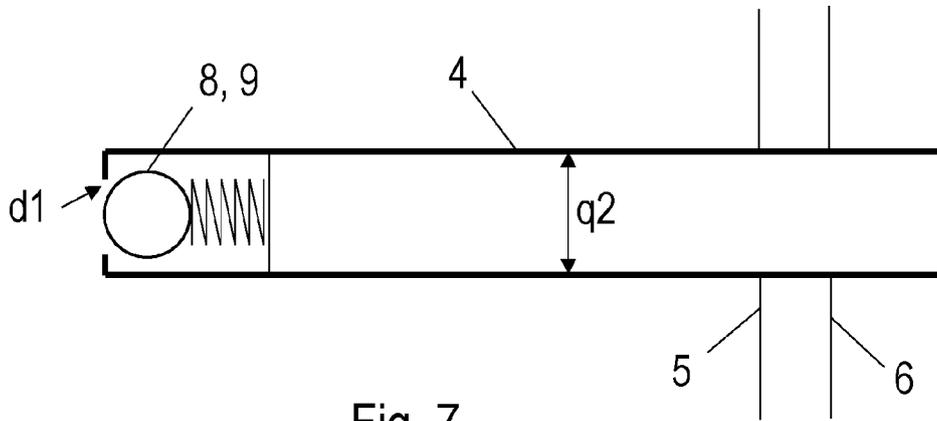


Fig. 7

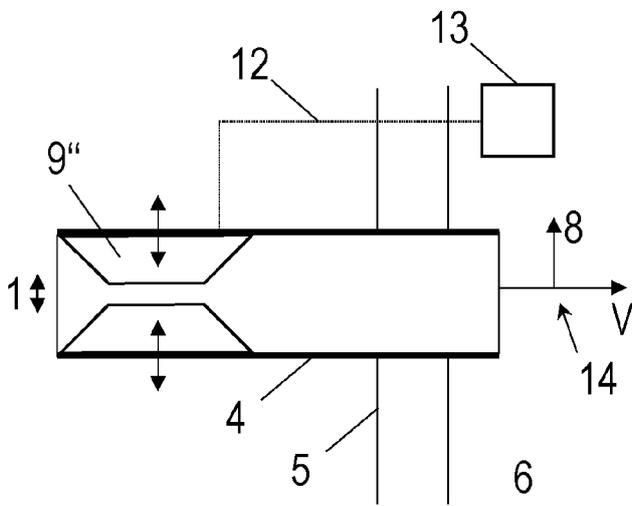


Fig. 8a

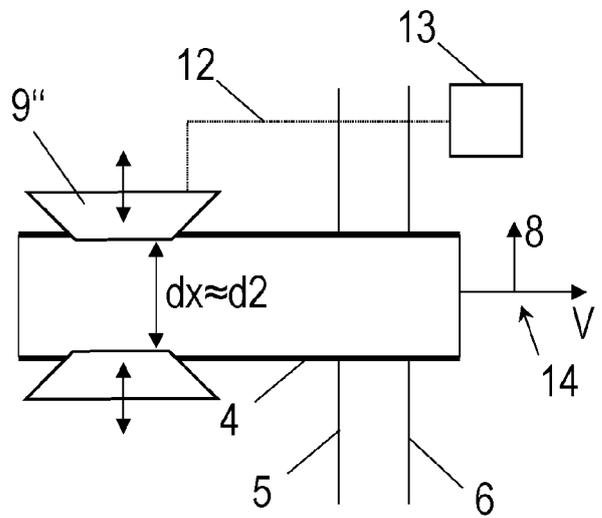


Fig. 8b



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 23 18 6523

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2023/067726 A1 (LIGHT JOSHUA [US]) 2. März 2023 (2023-03-02) * Absätze [0087] - [0088], [0092]; Abbildungen 1,5-9 *	1-15	INV. F17C7/02
A	US 4 277 950 A (EIGENBROD LESTER K ET AL) 14. Juli 1981 (1981-07-14) * Abbildung 2 *	10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F17C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 3. Januar 2024	Prüfer Pöll, Andreas
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

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

EP 23 18 6523

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

03-01-2024

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2023067726 A1	02-03-2023	US 2023067726 A1	02-03-2023
		WO 2023034484 A1	09-03-2023

US 4277950 A	14-07-1981	CA 1142425 A	08-03-1983
		US 4277950 A	14-07-1981

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0461

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

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

- WO 2022204745 A1 **[0003]**
- WO 2022067362 A1 **[0004]**
- EP 2981756 A1 **[0056]**