

(19)



(11)

EP 3 495 711 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
12.06.2019 Patentblatt 2019/24

(51) Int Cl.:
F17C 1/12 (2006.01) F17C 13/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **17020563.7**

(22) Anmeldetag: **08.12.2017**

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

- **Bichlmeier, Jürgen**
84518 Garching a.d.Alz (DE)
- **Treuchtinger, Niels**
83123 Amerang (DE)
- **Todorov, Teodor**
83352 Altenmarkt (DE)

(71) Anmelder: **Linde Aktiengesellschaft**
80331 München (DE)

(74) Vertreter: **Meilinger, Claudia Sabine**
Linde AG
Technology & Innovation
Corporate Intellectual Property
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)

(72) Erfinder:
 • **Posselt, Heinz**
83043 Bad Aibling (DE)

(54) TRANSPORTBEHÄLTER MIT KÜHLBAREM, THERMISCHEN SCHILD

(57) Ein Transportbehälter (1) für Helium (He), mit einem Innenbehälter (6) zum Aufnehmen des Heliums (He), einem Kühlmittelbehälter (14) zum Aufnehmen eines kryogenen Fluids (N₂), einem Außenbehälter (2), in dem der Innenbehälter (6) und der Kühlmittelbehälter (14) aufgenommen sind, einem thermischen Schild (21), in dem der Innenbehälter (6) aufgenommen ist und der mit Hilfe des kryogenen Fluids (N₂) aktiv kühlbar ist, wobei der thermische Schild (21) zumindest eine Kühllei-

tung (26) aufweist, die mit dem Kühlmittelbehälter (14) in Fluidverbindung ist und in der zum aktiven Kühlen des thermischen Schilds (21) das kryogene Fluid (N₂) aufnehmbar ist, und zumindest einer Rücklaufleitung (34, 35), mit deren Hilfe die zumindest eine Kühlleitung (26) mit dem Kühlmittelbehälter (14) in Fluidverbindung ist, um das kryogene Fluid (N₂) wieder dem Kühlmittelbehälter (14) zuzuführen.

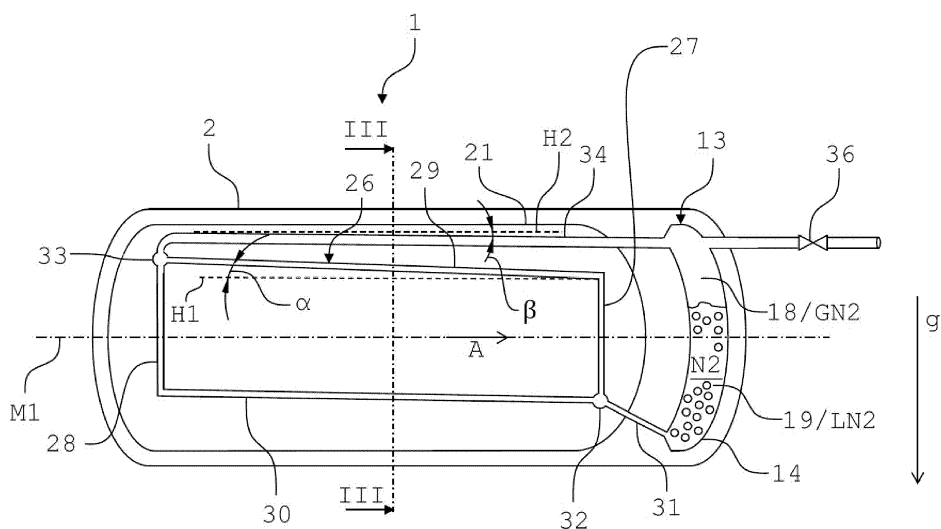


Fig. 2

EP 3 495 711 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Transportbehälter für Helium.

[0002] Helium wird zusammen mit Erdgas gefördert. Ein Transport großer Mengen Helium ist aus ökonomischen Gründen nur in flüssiger beziehungsweise überkritischer Form, das heißt, bei einer Temperatur von etwa 4,2 bis 6 K und unter einem Druck von 1 bis 6 bar sinnvoll. Zum Transport des flüssigen beziehungsweise überkritischen Heliums werden Transportbehälter eingesetzt, die, um einen zu schnellen Druckanstieg des Heliums zu vermeiden, aufwendig thermisch isoliert werden. Derartige Transportbehälter können beispielsweise mit Hilfe von flüssigem Stickstoff gekühlt werden. Hierbei wird ein mit dem flüssigen Stickstoff gekühlter thermischer Schild vorgesehen. Der thermische Schild schirmt einen Innenbehälter des Transportbehälters ab. In dem Innenbehälter ist das flüssige beziehungsweise tiefkalte Helium aufgenommen. Die Haltezeit für das flüssige beziehungsweise tiefkalte Helium beträgt bei derartigen Transportbehältern 35 bis 40 Tage, das heißt, nach dieser Zeit ist der Druck in dem Innenbehälter auf den Maximalwert von 6 bar gestiegen. Der Vorrat an flüssigem Stickstoff reicht für etwa 35 Tage aus.

[0003] Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, einen verbesserten Transportbehälter zur Verfügung zu stellen.

[0004] Demgemäß wird ein Transportbehälter für Helium vorgeschlagen. Der Transportbehälter umfasst einen Innenbehälter zum Aufnehmen des Heliums, einen Kühlmittelbehälter zum Aufnehmen eines kryogenen Fluids, einen Außenbehälter, in dem der Innenbehälter und der Kühlmittelbehälter aufgenommen sind, einen thermischen Schild, in dem der Innenbehälter aufgenommen ist und der mit Hilfe des kryogenen Fluids aktiv kühlbar ist, wobei der thermische Schild zumindest eine Kühlleitung aufweist, die mit dem Kühlmittelbehälter in Fluidverbindung ist und in der zum aktiven Kühlen des thermischen Schilds das kryogene Fluid aufnehmbar ist, und zumindest eine Rücklaufleitung, mit deren Hilfe die zumindest eine Kühlleitung mit dem Kühlmittelbehälter in Fluidverbindung ist, um das kryogene Fluid wieder dem Kühlmittelbehälter zuzuführen.

[0005] Dadurch, dass die Rücklaufleitung vorgesehen ist, wird das zum Kühlen verwendete kryogene Fluid aus der Kühlleitung wieder dem Kühlmittelbehälter zugeführt. Mit Hilfe der Rücklaufleitung können insbesondere eine flüssige Phase des kryogenen Fluids, die aus der Kühlleitung des thermischen Schilds aufgrund von Blasenbildung in der Kühlleitung in die Rücklaufleitung mitgerissen wird, und eine verdampfte Phase des kryogenen Fluids wieder dem Kühlmittelbehälter zugeführt werden. Durch den Mitritt der flüssigen Phase kann sichergestellt werden, dass das kryogene Fluid stets bis zu einem höchsten Punkt der Kühlleitung in dieser steht oder in dieser vorhanden ist. Nichtverdampftes kryogenes Fluid wird in einem Umlauf, insbesondere in einem Naturumlauf, das

heißt, in einem selbsttätigen Umlauf, dem Kühlmittelbehälter wieder zugeführt. Auch die gasförmige Phase wird dem Kühlmittelbehälter in diesem Umlauf wieder zugeführt.

[0006] Auf die Verwendung eines Phasenseparators, der üblicherweise die gasförmige Phase des kryogenen Fluids von der flüssigen Phase des kryogenen Fluids trennt, kann hierdurch vollständig verzichtet werden. Dies reduziert die Kosten zum Herstellen und Warten des Transportbehälters. Ein derartiger Phasenseparator umfasst bewegliche Teile und hat daher eine begrenzte Lebensdauer. Ebenso ist der Wärmeeinfall auf ein die Kühlleitung umfassendes Kühlsystem durch einen Phasenseparator nicht unerheblich. Dieser Wärmeeinfall fällt durch den Verzicht auf den Phasenseparator weg. Ein derartiger Phasenseparator kann ferner als außenseitig an dem Transportbehälter vorgesehenes Anbauteil beim Handling des Transportbehälters beschädigt werden. Auch diese Gefahr besteht durch den Verzicht auf den Phasenseparator nicht mehr. Der Transportbehälter ist damit phasenseparatorfrei oder phasenseparatorlos.

[0007] Der zuvor erwähnte Naturumlauf funktioniert bevorzugt ohne oder zumindest mit geringem Überdruck. Daher kann der Druck im Kühlmittelbehälter von 1,3 bara auf 1,1 bara abgesenkt werden. Diese Absenkung des Drucks führt zu einer Erniedrigung der Siedetemperatur des kryogenen Fluids, vorliegend beispielsweise Stickstoff, um 1,5 K. Der Wärmeeinfall auf das Helium verringert sich dadurch um etwa 5%, so dass die Helium-Haltezeit im Vergleich zu bekannten Transportbehältern um etwa drei Tage ansteigt.

[0008] Der Innenbehälter kann auch als Heliumbehälter oder als Innentank bezeichnet werden. Der Transportbehälter kann auch als Helium-Transportbehälter bezeichnet werden. Das Helium kann als flüssiges oder tiefkaltes Helium bezeichnet werden. Das Helium ist insbesondere ebenfalls ein kryogenes Fluid. Der Transportbehälter ist insbesondere dazu eingerichtet, das Helium in tiefkalter oder flüssiger beziehungsweise in überkritischer Form zu transportieren. In der Thermodynamik ist der kritische Punkt ein thermodynamischer Zustand eines Stoffes, der sich durch Angleichen der Dichten von flüssiger Phase und Gasphase kennzeichnet. Die Unterschiede zwischen beiden Aggregatzuständen hören an diesem Punkt auf zu existieren. In einem Phasendiagramm stellt der kritische Punkt das obere Ende der Dampfdruckkurve dar.

[0009] Das Helium wird in flüssiger beziehungsweise tiefkalter Form in den Innenbehälter eingefüllt. In dem Innenbehälter bildet sich dann eine Flüssigkeitszone mit flüssigem Helium und eine Gaszone mit gasförmigem Helium. Das Helium weist also nach dem Einfüllen in den Innenbehälter zwei Phasen mit unterschiedlichen Aggregatzuständen, nämlich flüssig und gasförmig, auf. Das heißt, in dem Innenbehälter befindet sich eine Phasengrenze zwischen dem flüssigen Helium und dem gasförmigen Helium. Nach einer gewissen Zeit, das heißt, dann wenn der Druck in dem Innenbehälter steigt, wird das

sich in dem Innenbehälter befindende Helium einphasig. Die Phasengrenze existiert dann nicht mehr, und das Helium ist überkritisch.

[0010] Das kryogene Fluid oder das Kryogen ist vorzugsweise flüssiger Stickstoff. Das kryogene Fluid kann auch als Kühlmittel bezeichnet werden. Das kryogene Fluid kann alternativ beispielsweise auch flüssiger Wasserstoff oder flüssiger Sauerstoff sein. Darunter, dass der thermische Schild aktiv kühlbar oder aktiv gekühlt ist, ist zu verstehen, dass der thermische Schild von dem kryogenen Fluid zumindest partiell durchströmt oder umströmt wird, um diesen zu kühlen. Dabei siedet das kryogene Fluid, und es liegt somit die gasförmige Phase sowie die flüssige Phase des kryogenen Fluids vor. In der Kühlleitung kann das kryogene Fluid daher sowohl in seiner gasförmigen als auch in seiner flüssigen Phase aufgenommen sein. Ebenso kann das kryogene Fluid in der Rücklaufleitung in seiner flüssigen Phase und/oder in seiner gasförmigen Phase aufgenommen sein beziehungsweise zurück zu dem Kühlmittelbehälter gefördert werden. In der Rücklaufleitung kann die flüssige Phase des kryogenen Fluids zumindest teilweise verdampfen. Nicht verdampfte Anteile der flüssigen Phase des kryogenen Fluids fallen zurück in den Kühlmittelbehälter. Die flüssige Phase wird insbesondere mit Hilfe der gasförmigen Phase des kryogenen Fluids gefördert. Auf eine Pumpe mit beweglichen Bauteilen kann verzichtet werden. Im Betrieb des Transportbehälters beziehungsweise des thermischen Schilds strömt beim Verdampfen des kryogenen Fluids die flüssige Phase des kryogenen Fluids aus dem Kühlmittelbehälter in die Kühlleitung nach, so dass die Kühlleitung stets über ihre gesamte Länge mit der flüssigen Phase gefüllt ist. Der Kühlmittelbehälter, die Kühlleitung und die Rücklaufleitung bilden somit ein Kühlsystem. Das Kühlsystem ist ein geschlossenes System, in dem ein Umlauf des kryogenen Fluids möglich ist.

[0011] Insbesondere ist der thermische Schild nur im Betrieb des Transportbehälters, das heißt dann, wenn der Innenbehälter mit Helium gefüllt ist, aktiv gekühlt. Wenn das kryogene Fluid verbraucht ist, kann der thermische Schild auch ungekühlt sein. Wie zuvor erwähnt, kann bei dem aktiven Kühlen des thermischen Schilds das kryogene Fluid in der Kühlleitung, aber auch in der Rücklaufleitung, verdampfen. Der thermische Schild weist hierdurch eine Temperatur auf, die annähernd oder genau dem Siedepunkt des kryogenen Fluids entspricht. Der Siedepunkt des kryogenen Fluids ist vorzugsweise höher als der Siedepunkt des flüssigen Heliums. Der thermische Schild ist insbesondere innerhalb des Außenbehälters angeordnet. Vorzugsweise ist der Kühlmittelbehälter außerhalb des thermischen Schilds angeordnet. Vorzugsweise sind die Kühlleitung und die Rücklaufleitung zwei voneinander getrennte Bauteile. Das heißt, die Kühlleitung entspricht nicht der Rücklaufleitung.

[0012] Vorzugsweise weist der Innenbehälter außenseitig eine Temperatur auf, die annähernd oder genau der Temperatur des in dem Innenbehälter gespeicherten Heliums entspricht. Die Temperatur des Heliums beträgt,

je nachdem, ob das Helium in flüssiger oder überkritischer Form vorliegt, 4,2 bis 6 K. Vorzugsweise schließt ein Deckelabschnitt des thermischen Schilds einen Basisabschnitt desselben jeweils stirnseitig vollständig ab. Der Basisabschnitt des thermischen Schilds kann einen kreisrunden oder einen annähernd kreisrunden Querschnitt aufweisen. Der Außenbehälter, der Innenbehälter, der Kühlmittelbehälter und der thermische Schild können rotationssymmetrisch zu einer gemeinsamen Mittel- oder Symmetrieachse aufgebaut sein. Der Innenbehälter und der Außenbehälter sind vorzugsweise aus Edelstahl gefertigt. Der Innenbehälter weist vorzugsweise einen rohrförmigen Basisabschnitt auf, der beidseits mit gewölbten Deckelabschnitten verschlossen ist.

[0013] Der Innenbehälter ist fluiddicht. Der Außenbehälter weist vorzugsweise ebenfalls einen rohrförmigen Basisabschnitt auf, der stirnseitig beidseits von Deckelabschnitten verschlossen ist. Der Basisabschnitt des Innenbehälters und/oder der Basisabschnitt des Außenbehälters können einen kreisrunden oder einen annähernd kreisrunden Querschnitt aufweisen. Der thermische Schild ist vorzugsweise aus einem hochreinen Aluminiumwerkstoff gefertigt. Der thermische Schild ist vorzugsweise nicht fluiddicht. Das heißt, der thermische Schild kann Durchbrüche oder Bohrungen aufweisen.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform ist die zumindest eine Kühlleitung mit einer Flüssigkeitszone des Kühlmittelbehälters in Fluidverbindung und die zumindest eine Rücklaufleitung ist mit einer Gaszone des Kühlmittelbehälters in Fluidverbindung.

[0015] Bezüglich einer Schwerkraftrichtung ist die Gaszone oberhalb der Flüssigkeitszone angeordnet. Zwischen der Gaszone und der Flüssigkeitszone ist eine Phasengrenze angeordnet. Beim Einfüllen des kryogenen Fluids in den Kühlmittelbehälter verdampft dieses zumindest teilweise, und die oberhalb der Flüssigkeitszone angeordnete Gaszone bildet sich aus. Die Kühlleitung mündet somit in die Flüssigkeitszone ein, und die Rücklaufleitung mündet in die Gaszone ein.

[0016] Gemäß einer weiteren Ausführungsform mündet die zumindest eine Rücklaufleitung bezüglich einer Schwerkraftrichtung oberhalb der zumindest einen Kühlleitung in den Kühlmittelbehälter.

[0017] Die Rücklaufleitung ist insbesondere direkt mit dem Kühlmittelbehälter verbunden. Die Kühlleitung kann über eine Anschlussleitung mit dem Kühlmittelbehälter verbunden sein. Alternativ kann die Kühlleitung auch direkt mit dem Kühlmittelbehälter verbunden sein. Die Kühlleitung kann zwei in der Schwerkraftrichtung verlaufende vertikale Abschnitte aufweisen, die mit Hilfe von bezüglich einer Horizontalen schräg angeordneten Abschnitten miteinander verbunden sind. Die Kühlleitung kann ferner einen Verteiler aufweisen, in den die zuvor erwähnte Anschlussleitung einmündet und der mit Hilfe der Anschlussleitung mit dem Kühlmittelbehälter verbunden ist. Der Verteiler stellt einen tiefsten Punkt der Kühlleitung dar. Von dem Verteiler führen dann ein vertikaler sowie ein schräger Abschnitt der Kühlleitung weg. Die

vertikalen und die schrägen Abschnitte der Kühlleitung vereinen sich wieder an einem Sammler. Der Sammler stellt einen höchsten Punkt der Kühlleitung dar. An dem Sammler ist die Rücklaufleitung angeschlossen.

[0018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist ein tiefster Punkt der zumindest einen Kühlleitung mit dem Kühlmittelbehälter in Fluidverbindung.

[0019] Der tiefste Punkt der Kühlleitung kann der zuvor erwähnte Verteiler sein, der mit Hilfe der Anschlussleitung mit dem Kühlmittelbehälter in Fluidverbindung ist. Der tiefste Punkt kann auch als Verteiler oder der Verteiler kann als tiefster Punkt der Kühlleitung bezeichnet werden.

[0020] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist ein höchster Punkt der zumindest einen Kühlleitung mit Hilfe der zumindest einen Rücklaufleitung mit dem Kühlmittelbehälter in Fluidverbindung.

[0021] Der höchste Punkt der Kühlleitung ist der zuvor erwähnte Sammler. Die Rücklaufleitung verbindet den Sammler mit dem Kühlmittelbehälter. Der höchste Punkt kann auch als Sammler oder der Sammler kann auch als höchster Punkt der Kühlleitung bezeichnet werden.

[0022] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist ein Innendurchmesser der zumindest einen Rücklaufleitung größer als ein Innendurchmesser der zumindest einen Kühlleitung.

[0023] Hierdurch wird zuverlässig verhindert, dass sich das kryogene Fluid in der Rücklaufleitung aufstaut. Vielmehr können sich in dem kryogenen Fluid bildende Gasblasen die flüssige Phase des kryogenen Fluids aus der Kühlleitung mit in die Rücklaufleitung reißen. Beispielsweise ist der Innendurchmesser der Rücklaufleitung um 10%, 20%, 30% oder 40% größer als der Innendurchmesser der Kühlleitung.

[0024] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der Innendurchmesser der zumindest einen Kühlleitung größer als 10 Millimeter.

[0025] Beispielsweise beträgt der Innendurchmesser der Kühlleitung 12, 13, 14 oder mehr Millimeter.

[0026] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die zumindest eine Rücklaufleitung in einem Neigungswinkel in Richtung des Kühlmittelbehälters geneigt.

[0027] Das heißt, die Rücklaufleitung fällt in Richtung des Kühlmittelbehälters ab. Hierdurch ist gewährleistet, dass die flüssige Phase des kryogenen Fluids wieder zurück in den Kühlmittelbehälter strömt. Der Neigungswinkel ist definiert als ein Neigungswinkel der Rücklaufleitung relativ zu einer Horizontalen oder zu der Symmetrieachse des Transportbehälters. Die Horizontale ist dabei parallel zu der Symmetrieachse positioniert.

[0028] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die zumindest eine Rücklaufleitung mit dem thermischen Schild verbunden und zwischen dem thermischen Schild und dem Außenbehälter angeordnet.

[0029] Vorzugsweise verläuft die Rücklaufleitung bezüglich der Schwerkraftichtung an einem oberen Bereich des thermischen Schilds. Die Rücklaufleitung kann thermisch und/oder mechanisch mit dem thermischen

Schild gekoppelt sein. Beispielsweise kann die Rücklaufleitung mit dem thermischen Schild verklebt oder mit diesem verklammert sein. Die Rücklaufleitung kann anstatt außerhalb des thermischen Schilds auch innerhalb des thermischen Schilds angeordnet sein.

[0030] Gemäß einer weiteren Ausführungsform siedet das kryogene Fluid im Betrieb des Transportbehälters zum aktiven Kühlen des thermischen Schilds in der zumindest einen Kühlleitung, so dass in der zumindest einen Kühlleitung entstehende Gasblasen einer gasförmigen Phase des kryogenen Fluids eine flüssige Phase des kryogenen Fluids in die zumindest eine Rücklaufleitung fördern, um die gasförmige Phase des kryogenen Fluids und/oder die flüssige Phase des kryogenen Fluids wieder dem Kühlmittelbehälter zuzuführen.

[0031] Die Gasblasen reißen die flüssige Phase des kryogenen Fluids aus der Kühlleitung mit in die Rücklaufleitung. Es ergibt sich hierdurch jedoch keine kontinuierliche, sondern eine diskontinuierliche Förderung der flüssigen Phase des kryogenen Fluids. Die Kühlleitung und die Rücklaufleitung bilden somit eine Pumpeinrichtung in Form einer Blasenpumpe oder Mammutpumpe, die dazu geeignet ist, das kryogene Fluid aus dem Kühlmittelbehälter durch die Kühlleitung und von der Kühlleitung über die Rücklaufleitung wieder dem Kühlmittelbehälter zuzuführen.

[0032] Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind eine erste Rücklaufleitung und eine zweite Rücklaufleitung vorgesehen, die parallel zueinander verlaufen.

[0033] Die Rücklaufleitungen können auch voneinander weg verlaufen. Die Anzahl der Rücklaufleitungen ist beliebig. Zumindest ist jedoch eine Rücklaufleitung vorgesehen.

[0034] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der Kühlmittelbehälter ein Abblasventil zum Abblasen einer gasförmigen Phase des kryogenen Fluids aus dem Kühlmittelbehälter auf.

[0035] Hierdurch wird der Druck in dem Kühlmittelbehälter reguliert. Die abgeblasene gasförmige Phase des kryogenen Fluids kann einem zwischen dem thermischen Schild und dem Außenbehälter angeordneten, aktiv kühlbaren Isolationselement zugeführt werden. Nach dem Durchlauf der gasförmigen Phase des kryogenen Fluids durch dieses Isolationselement ist die gasförmige Phase nicht mehr tiefkalt und kann als erwärmte gasförmige Phase an die Umgebung abgegeben werden, ohne dass es zu einer unerwünschten Vereisung an dem Transportbehälter kommen kann.

[0036] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der Innenbehälter vollständig von dem thermischen Schild umgeben.

[0037] Das heißt, der thermische Schild hüllt den Innenbehälter vollständig ein. Der thermische Schild ist dabei vorzugsweise nicht fluiddicht.

[0038] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der thermische Schild einen von dem Kühlmittelbehälter getrennten Deckelabschnitt auf, der zwischen dem Innenbehälter und dem Kühlmittelbehälter angeordnet ist.

[0039] Vorzugsweise weist der thermische Schild den rohrförmigen Basisabschnitt auf, der beidseitig von den Deckelabschnitten verschlossen ist. Zwischen dem Innenbehälter und dem Kühlmittelbehälter ist einer der Deckelabschnitte des thermischen Schilds angeordnet. Der Deckelabschnitt des thermischen Schilds ist insbesondere in einem zwischen dem Innenbehälter und dem Kühlmittelbehälter vorgesehenen Zwischenraum positioniert.

[0040] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der Kühlmittelbehälter außerhalb des thermischen Schilds angeordnet.

[0041] Vorzugsweise ist der Kühlmittelbehälter in einer Axialrichtung des Transportbehälters neben dem thermischen Schild positioniert. Zwischen dem Kühlmittelbehälter und dem thermischen Schild ist ein Zwischenraum vorgesehen. Der Kühlmittelbehälter ist vorzugsweise nicht Teil des thermischen Schilds.

[0042] Weitere mögliche Implementierungen des Transportbehälters umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmalen oder Ausführungsformen. Dabei wird der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform des Transportbehälters hinzufügen.

[0043] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Transportbehälters sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiele des Transportbehälters. Im Weiteren wird der Transportbehälter anhand von bevorzugten Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigelegten Figuren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht einer Ausführungsform eines Transportbehälters;

Fig. 2 zeigt eine weitere schematische Ansicht des Transportbehälters gemäß Fig. 1; und

Fig. 3 zeigt eine schematische Schnittansicht des Transportbehälters gemäß der Schnittlinie III-III der Fig. 2.

[0044] In den Figuren sind gleiche oder funktionsgleiche Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen worden, sofern nichts anderes angegeben ist. Die Fig. 1 zeigt eine stark vereinfachte schematische Ansicht einer Ausführungsform eines Transportbehälters 1 für flüssiges Helium He. Die Fig. 2 zeigt eine weitere stark vereinfachte schematische Ansicht des Transportbehälters 1, und die Fig. 3 zeigt eine schematische Schnittansicht des Transportbehälters 1 gemäß der Schnittlinie III-III der Fig. 2. Im Folgenden wird auf die Fig. 1 bis 3 gleichzeitig Bezug genommen.

[0045] Der Transportbehälter 1 kann auch als Helium-Transportbehälter bezeichnet werden. Der Transportbehälter 1 kann auch für andere kryogene Fluide eingesetzt

werden. Beispiele für kryogene Fluide, oder kurz Kryogene, sind das zuvor erwähnte flüssige Helium He (Siedepunkt bei 1 bara: 4,222 K = -268,929 °C), flüssiger Wasserstoff H₂ (Siedepunkt bei 1 bara: 20,268 K = -252,882 °C), flüssiger Stickstoff N₂ (Siedepunkt bei 1 bara: 7,35 K = 195,80 °C) oder flüssiger Sauerstoff O₂ (Siedepunkt bei 1 bara: 9,18 K = 182,97 °C).

[0046] Der Transportbehälter 1 umfasst einen Außenbehälter 2. Der Außenbehälter 2 ist beispielsweise aus Edelstahl gefertigt. Der Außenbehälter 2 kann eine Länge L₂ von beispielsweise 10 Meter aufweisen. Der Außenbehälter 2 umfasst einen rohr- oder zylinderförmigen Basisabschnitt 3, der stirnseitig beidseits jeweils mit Hilfe eines Deckelabschnitts 4, 5, insbesondere mit Hilfe eines ersten Deckelabschnitts 4 und eines zweiten Deckelabschnitts 5, verschlossen ist. Der Basisabschnitt 3 kann im Querschnitt eine kreisrunde oder annähernd kreisrunde Geometrie aufweisen. Die Deckelabschnitte 4, 5 sind gewölbt, so dass beide Deckelabschnitte 4, 5 bezüglich des Basisabschnitts 3 nach außen gewölbt sind. Der Außenbehälter 2 ist fluiddicht, insbesondere gasdicht. Der Außenbehälter 2 weist eine Mittel- oder Symmetrieachse M1 auf, zu der der Außenbehälter 2 rotationssymmetrisch aufgebaut ist.

[0047] Der Transportbehälter 1 umfasst weiterhin einen Innenbehälter 6 zum Aufnehmen des Heliums He. Der Innenbehälter 6 ist in der Fig. 2 nicht gezeigt. Der Innenbehälter 6 ist beispielsweise ebenfalls aus Edelstahl gefertigt. In dem Innenbehälter 6 können, solange sich das Helium He im Zweiphasengebiet befindet, eine Gaszone 7 mit verdampftem Helium He und eine Flüssigkeitszone 8 mit flüssigem Helium He vorgesehen sein. Der Innenbehälter 6 ist fluiddicht, insbesondere gasdicht, und kann ein Abblasventil zum gesteuerten Druckabbau umfassen. Der Innenbehälter 6 umfasst wie der Außenbehälter 2 einen rohr- oder zylinderförmigen Basisabschnitt 9, der beidseitig stirnseits von Deckelabschnitten 10, 11, insbesondere einem ersten Deckelabschnitt 10 und einem zweiten Deckelabschnitt 11, verschlossen ist. Der Basisabschnitt 9 kann im Querschnitt eine kreisrunde oder annähernd kreisrunde Geometrie aufweisen. Der Innenbehälter 6 ist, wie der Außenbehälter 2, rotationssymmetrisch zu der Symmetrieachse M1 aufgebaut. Der Innenbehälter 6 ist vollständig von dem Außenbehälter 2 umschlossen. Zwischen dem Außenbehälter 2 und dem Innenbehälter 6 ist ein evakuierter Spalt oder Zwischenraum 12 vorgesehen.

[0048] Der Transportbehälter 1 umfasst weiterhin ein Kühlsystem 13 (Fig. 2) mit einem Kühlmittelbehälter 14. Der Zwischenraum 12 ist auch zwischen dem Kühlmittelbehälter 14 und dem Außenbehälter 2 vorgesehen. Der Zwischenraum 12 ist, wie zuvor erwähnt, evakuiert. Der Zwischenraum 12 hüllt den Innenbehälter 6 und den Kühlmittelbehälter 14 vollständig ein.

[0049] In dem Kühlmittelbehälter 14 ist ein kryogenes Fluid, wie beispielsweise Stickstoff N₂, aufgenommen. Nachfolgend wird das kryogene Fluid daher als Stickstoff

N2 bezeichnet. Der Kühlmittelbehälter 14 umfasst einen rohr- oder zylinderförmigen Basisabschnitt 15, der rotationssymmetrisch zu der Symmetrieachse M1 aufgebaut sein kann. Der Basisabschnitt 15 kann im Querschnitt eine kreisrunde oder annähernd kreisrunde Geometrie aufweisen. Der Basisabschnitt 15 ist stirnseitig jeweils durch einen Deckelabschnitt 16, 17, insbesondere durch einen ersten Deckelabschnitt 16 und einen zweiten Deckelabschnitt 17, verschlossen. Die Deckelabschnitte 16, 17 können gewölbt sein. Insbesondere sind die Deckelabschnitte 16, 17 in die gleiche Richtung gewölbt. Der Kühlmittelbehälter 14 kann auch einen abweichenden Aufbau haben. Der Kühlmittelbehälter 14 ist außerhalb des Innenbehälters 6, jedoch innerhalb des Außenbehälters 2 angeordnet.

[0050] In dem Kühlmittelbehälter 14 kann eine Gaszone 18 mit verdampftem oder gasförmigem Stickstoff GN2 und eine Flüssigkeitszone 19 mit flüssigem Stickstoff LN2 vorgesehen sein. In einer Schwerkraftrichtung g betrachtet ist die Gaszone 18 oberhalb der Flüssigkeitszone 19 angeordnet. Der gasförmige Stickstoff GN2 kann auch als gasförmige Phase des Stickstoffs N2 beziehungsweise des kryogenen Fluids bezeichnet werden. Der flüssige Stickstoff LN2 kann auch als flüssige Phase des Stickstoffs N2 beziehungsweise des kryogenen Fluids bezeichnet werden. In einer Axialrichtung A des Transportbehälters 1 betrachtet ist der Kühlmittelbehälter 14 neben dem Innenbehälter 6 angeordnet. Die Axialrichtung A ist parallel zu der Symmetrieachse M1 positioniert oder stimmt mit dieser überein. Die Axialrichtung A kann von dem ersten Deckelabschnitt 4 des Außenbehälters 2 in Richtung des zweiten Deckelabschnitts 5 des Außenbehälters 2 orientiert sein. Zwischen dem Innenbehälter 6, insbesondere zwischen dem zweiten Deckelabschnitt 11 des Innenbehälters 6, und dem Kühlmittelbehälter 14, insbesondere dem ersten Deckelabschnitt 16 des Kühlmittelbehälters 14, ist ein Spalt oder Zwischenraum 20 vorgesehen, der Teil des Zwischenraums 12 sein kann. Das heißt, der Zwischenraum 20 ist ebenfalls evakuiert.

[0051] Der Transportbehälter 1 umfasst weiterhin einen dem Kühlsystem 13 zugeordneten thermischen Schild 21. Der thermische Schild 21 ist in dem zwischen dem Innenbehälter 6 und dem Außenbehälter 2 vorgesehenen evakuierten Zwischenraum 12 angeordnet. Der thermische Schild 21 ist mit Hilfe des Stickstoffs N2 aktiv kühlbar oder aktiv gekühlt. Unter einer aktiven Kühlung ist vorliegend zu verstehen, dass der Stickstoff N2 zur Kühlung des thermischen Schilds 21 durch diesen hindurchgeleitet oder an diesem entlang geleitet wird. Der thermische Schild 21 wird hierbei auf eine Temperatur abgekühlt, die etwa dem Siedepunkt des Stickstoffs N2 entspricht.

[0052] Der thermische Schild 21 umfasst einen zylinder- oder rohrförmigen Basisabschnitt 22, der beidseitig von einem diesen stirnseitig abschließenden Deckelabschnitt 23, 24, insbesondere einem ersten Deckelabschnitt 23 und einem zweiten Deckelabschnitt 24, abge-

schlossen ist. Sowohl der Basisabschnitt 22 als auch die Deckelabschnitte 23, 24 sind mit Hilfe des Stickstoffs N2 aktiv gekühlt. Der Basisabschnitt 22 kann im Querschnitt eine kreisrunde oder annähernd kreisrunde Geometrie aufweisen. Der thermische Schild 21 ist vorzugsweise ebenfalls rotationssymmetrisch zu der Symmetrieachse M1 aufgebaut.

[0053] In der Axialrichtung A betrachtet ist der zweite Deckelabschnitt 24 des thermischen Schilds 21 zwischen dem Innenbehälter 6, insbesondere dem zweiten Deckelabschnitt 11 des Innenbehälters 6, und dem Kühlmittelbehälter 14, insbesondere dem ersten Deckelabschnitt 16 des Kühlmittelbehälters 14, angeordnet. Der thermische Schild 21, insbesondere der zweite Deckelabschnitt 24 des thermischen Schilds 21, ist ein von dem Kühlmittelbehälter 14 getrenntes Bauteil. Das heißt, der thermische Schild 21, insbesondere der zweite Deckelabschnitt 24 des thermischen Schilds 21, ist nicht Teil des Kühlmittelbehälters 14. Der Zwischenraum 12 hüllt den thermischen Schild 21 vollständig ein.

[0054] Der erste Deckelabschnitt 23 des thermischen Schilds 21 ist dem Kühlmittelbehälter 14 abgewandt. Der erste Deckelabschnitt 23 des thermischen Schilds 21 ist zwischen dem ersten Deckelabschnitt 4 des Außenbehälters 2 und dem ersten Deckelabschnitt 10 des Innenbehälters 6 angeordnet. Der thermische Schild 21 ist dabei selbsttragend. Das heißt, der thermische Schild 21 stützt sich weder auf dem Innenbehälter 6 noch auf dem Außenbehälter 2 auf. Hierzu kann an dem thermischen Schild 21 ein Tragring vorgesehen sein, der über Abstützungsstäbe, insbesondere Zugstäbe, an dem Außenbehälter 2 abgehängt ist. Weiterhin kann der Innenbehälter 6 über weitere Abstützungsstäbe, insbesondere Zugstäbe, an dem Tragring abgehängt sein. Der Wärmeeinfall durch die mechanischen Abstützungsstäbe wird teilweise durch den Tragring realisiert. Der Tragring besitzt Taschen, die eine größtmögliche thermische Länge der Abstützungsstäbe ermöglichen. Der Kühlmittelbehälter 14 kann Durchführungen für die mechanischen Abstützungsstäbe umfassen.

[0055] Der thermische Schild 21 ist fluiddurchlässig. Das heißt, ein Spalt oder Zwischenraum 25 zwischen dem Innenbehälter 6 und dem thermischen Schild 21 ist in Fluidverbindung mit dem Zwischenraum 12. Hierdurch können die Zwischenräume 12, 25 gleichzeitig evakuiert werden. Der Zwischenraum 25 hüllt den Innenbehälter 6 vollständig ein. In dem Zwischenraum 25 kann ein, in den Fig. 1 bis 3 nicht gezeigtes, Isolationselement angeordnet sein. Dieses Isolationselement kann eine sogenannte MLI (engl.: Multilayer Insulation) sein oder umfassen. In dem thermischen Schild 21 können Bohrungen, Durchbrüche oder dergleichen vorgesehen sein, um ein gleichzeitiges Evakuieren der Zwischenräume 12, 25 zu ermöglichen. Der thermische Schild 21 ist vorzugsweise aus einem hochreinen Aluminiumwerkstoff gefertigt.

[0056] Der zweite Deckelabschnitt 24 des thermischen Schilds 21 schirmt den Kühlmittelbehälter 14 vollständig

gegenüber dem Innenbehälter 6 ab. Das heißt, mit Blickrichtung von dem Innenbehälter 6 auf den Kühlmittelbehälter 14, insbesondere mit Blickrichtung in der Axialrichtung A, ist der Kühlmittelbehälter 14 vollständig von dem zweiten Deckelabschnitt 24 des thermischen Schilds 21 abgedeckt oder abgeschirmt. Insbesondere umschließt der thermische Schild 21 den Innenbehälter 6 dabei vollständig. Das heißt, der Innenbehälter 6 ist vollständig innerhalb des thermischen Schilds 21 angeordnet, wobei der thermische Schild 21, wie zuvor schon erwähnt, nicht fluiddicht ist.

[0057] Wie die Fig. 2, in der der Innenbehälter 6 nicht gezeigt ist, weiterhin zeigt, umfasst der thermische Schild 21 zum aktiven Kühlen desselben zumindest eine Kühlleitung 26. Die Kühlleitung 26 ist dem Kühlsystem 13 zugeordnet. Vorzugsweise sind mehrere derartige Kühlleitungen 26, beispielsweise sechs derartige Kühlleitungen 26, vorgesehen. Die Anzahl der Kühlleitungen 26 ist jedoch beliebig. Die Kühlleitung 26 kann zwei in der Schwerkraftrichtung g verlaufende, senkrechte Abschnitte 27, 28 sowie zwei schräge Abschnitte 29, 30 umfassen. Die senkrechten Abschnitte 27, 28 können an den Deckelabschnitten 23, 24 und/oder an dem Basisabschnitt 22 des thermischen Schilds 21 vorgesehen sein. Die schrägen Abschnitte 29, 30 können ebenfalls an den Deckelabschnitten 23, 24 und/oder an dem Basisabschnitt 22 vorgesehen sein. Der Abschnitt 27 ist mit dem Abschnitt 29 in Fluidverbindung und der Abschnitt 30 ist mit dem Abschnitt 28 in Fluidverbindung.

[0058] Die Kühlleitung 26 ist sowohl mechanisch als auch thermisch mit dem thermischen Schild 21 verbunden. Hierzu kann die Kühlleitung 26 stoffschlüssig mit dem thermischen Schild 21 verbunden sein. Bei stoffschlüssigen Verbindungen werden die Verbindungspartner durch atomare oder molekulare Kräfte zusammengehalten. Stoffschlüssige Verbindungen sind nicht lösbare Verbindungen, die sich nur durch Zerstörung der Verbindungsmittel oder der Verbindungspartner trennen lassen. Stoffschlüssig kann beispielsweise durch Kleben, Löten, Schweißen oder Vulkanisieren verbunden werden. Vorzugsweise ist die Kühlleitung 26 beziehungsweise sind die Kühlleitungen 26 mit dem thermischen Schild 21 verschweißt, verlötet oder verklebt.

[0059] Die Kühlleitung 26 ist mit Hilfe einer Anschlussleitung 31 mit dem Kühlmittelbehälter 14 in Fluidverbindung, so dass bei gefülltem Kühlmittelbehälter 14 der Stickstoff N₂ von dem Kühlmittelbehälter 14 in die Kühlleitung 26 gedrückt wird. Die Anschlussleitung 31 ist Teil der Kühlleitung 26. Die Kühlleitung 26 kann auch direkt mit dem Kühlmittelbehälter 14 in Verbindung sein. Die Anschlussleitung 31 mündet in einen Verteiler 32, von dem der Abschnitt 27 und der Abschnitt 30 der Kühlleitung 26 abzweigen. Der Verteiler 32 bildet bezüglich der Schwerkraftrichtung g einen tiefsten Punkt der Kühlleitung 26. Daher kann der Verteiler 32 auch als tiefster Punkt der Kühlleitung 26 bezeichnet werden. Dieser tiefste Punkt der Kühlleitung 26 ist mit Hilfe der Anschlussleitung 31 mit der Flüssigkeitszone 19 des Kühl-

mittelbehälters 14 in Fluidverbindung. Die Anschlussleitung 31 kann dabei in einen bezüglich der Schwerkraftrichtung g tiefsten Punkt des Kühlmittelbehälters 14 einmünden. Der Abschnitt 29 und der Abschnitt 28 der Kühlleitung 26 treffen sich an einem Sammler 33, der bezüglich der Schwerkraftrichtung g einen höchsten Punkt der Kühlleitung 26 bildet. Daher kann Sammler 33 auch als höchster Punkt der Kühlleitung 26 bezeichnet werden.

[0060] Wie zuvor erwähnt, sind die Kühlleitungen 26 sowohl an dem Basisabschnitt 22 als auch an den Deckelabschnitten 23, 24 des thermischen Schilds 21 vorgesehen. Alternativ sind die Deckelabschnitte 23, 24 materialeinteilig, insbesondere stoffschlüssig, mit dem Basisabschnitt 22 verbunden. Beispielsweise sind die Deckelabschnitte 23, 24 mit dem Basisabschnitt 22 verschweißt. Dadurch, dass die Deckelabschnitte 23, 24 materialeinteilig, das heißt, stoffschlüssig, mit dem Basisabschnitt 22 verbunden sind, kann die Kühlung der Deckelabschnitte 23, 24 auch durch Wärmeleitung erfolgen.

[0061] Die Kühlleitung 26 und insbesondere die schrägen Abschnitte 29, 30 der Kühlleitung 26 weisen gegenüber einer Horizontalen H₁, die senkrecht zu der Schwerkraftrichtung g und parallel zu der Symmetrieachse M₁ angeordnet ist, eine Steigung auf. Insbesondere sind die schrägen Abschnitte 29, 30 in Richtung des Kühlmittelbehälters 14 geneigt. Bevorzugt schließen die Abschnitte 29, 30 mit der Horizontalen H einen Neigungswinkel α von größer als 3° ein. Der Neigungswinkel α kann 3° bis 15° oder auch mehr betragen. Insbesondere kann der Neigungswinkel α auch genau 3° betragen. Der Neigungswinkel α kann auch als erster Neigungswinkel bezeichnet werden. Insbesondere weisen die Abschnitte 29, 30 in Richtung des Sammlers 33 eine positive Steigung auf, so dass beim Sieden des Stickstoffs N₂ in der Kühlleitung 26 entstehende Gasblasen zu dem Sammler 33 hinaufsteigen. An den Sammler 33 kann ein außerhalb des Außenbehälters 2 angeordneter Phasenseparator angeschlossen sein, der dazu eingerichtet ist, den gasförmigen Stickstoff GN₂ von dem flüssigen Stickstoff LN₂ zu separieren und den gasförmigen Stickstoff GN₂ in die Umgebung abzublasen. Vorliegend wird jedoch auf einen derartigen Phasenseparator verzichtet.

[0062] In dem Zwischenraum 12 kann ein in den Fig. 1 bis 3 nicht gezeigtes Isolationselement angeordnet sein, welches den Zwischenraum 12 ausfüllt. Dieses Isolationselement ist außenseitig an dem thermischen Schild 21 vorgesehen und kann den Zwischenraum 12 ausfüllen. Das Isolationselement füllt vorzugsweise den Zwischenraum 12 im Bereich des Innenbehälters 6 vollständig aus, so dass dort das Isolationselement den thermischen Schild 21 außenseitig und den Außenbehälter 2 innenseitig kontaktiert. Das Isolationselement umschließt den thermischen Schild 21 bis auf dessen zweiten Deckelabschnitt 24, das heißt, es umschließt den ersten Deckelabschnitt 23 und den Basisabschnitt 22. Ferner wird der zylindrische Basisabschnitt 15 und der zwei-

te Deckelabschnitt 17 des Kühlmittelbehälters 14 von dem Isolationselement umschlossen. Das Isolationselement ist vorzugsweise ebenfalls eine sogenannte MLI oder kann eine MLI umfassen. Das Isolationselement kann wie der thermische Schild 21 aktiv gekühlt sein. Die aktive Kühlung erfolgt dabei mit Hilfe des tiefkalten gasförmigen Stickstoffs GN2. Zum aktiven Kühlen des Isolationselements kann eine weitere Kühlleitung durch dieses hindurchgeführt sein. Die Kühlleitung kann wendel- oder schraubenförmig sein.

[0063] Weiterhin umfasst der Transportbehälter 1 zumindest eine Rücklaufleitung 34, 35 (Fig. 3). Vorzugsweise sind eine erste Rücklaufleitung 34 und eine zweite Rücklaufleitung 35 vorgesehen. Die Anzahl der Rücklaufleitungen 34, 35 ist jedoch beliebig. Mit Hilfe der Rücklaufleitungen 34, 35 ist die Kühlleitung 26 beziehungsweise sind die Kühlleitungen 26 mit dem Kühlmittelbehälter 14 in Fluidverbindung, um den Stickstoff N2 nach dem Durchlauf durch die Kühlleitung 26 beziehungsweise die Kühlleitungen 26 wieder dem Kühlmittelbehälter 14 zuzuführen. Die Rücklaufleitungen 34, 35 können außenseitig an dem thermischen Schild 21 vorgesehen sein. Die Rücklaufleitungen 34, 35 sind mit dem thermischen Schild 21 zumindest mechanisch verbunden und bevorzugt zwischen dem thermischen Schild 21 und dem Außenbehälter 2 angeordnet. Alternativ können die Rücklaufleitungen 34, 35 auch thermisch mit dem thermischen Schild 21 verbunden sein.

[0064] Die Rücklaufleitungen 34, 35 sind in Richtung des Kühlmittelbehälters 14 geneigt. Insbesondere sind die Rücklaufleitungen 34, 35 in einem Neigungswinkel β relativ zu einer Horizontalen H2 geneigt. Die Horizontale H2 ist parallel zu der Horizontalen H1 angeordnet oder stimmt mit dieser überein. Der Neigungswinkel β kann auch als zweiter Neigungswinkel bezeichnet werden. Der Neigungswinkel β kann beispielsweise 4° betragen. Der Neigungswinkel β kann 4° bis 15° oder auch mehr betragen. Insbesondere kann der Neigungswinkel β auch genau 4° betragen. Die Rücklaufleitungen 34, 35 sind vorzugsweise dem Kühlsystem 13 zugeordnet.

[0065] Anders als die Kühlleitung 26 beziehungsweise die Kühlleitungen 26, die mit der Flüssigkeitszone 19 des Kühlmittelbehälters 14 in Fluidverbindung sind, sind die Rücklaufleitungen 34, 35 mit der Gaszone 18 des Kühlmittelbehälters in Fluidverbindung. Das heißt, bezüglich der Schwerkraftrichtung g münden die Kühlleitungen 34, 35 oberhalb der Kühlleitung 26, insbesondere oberhalb der Anschlussleitung 31 der Kühlleitung 26, in den Kühlmittelbehälter 14 hinein. Der Sammler 33, der den höchsten Punkt der Kühlleitung 26 darstellt, ist mit Hilfe der Rücklaufleitungen 34, 35 mit dem Kühlmittelbehälter 14 in Fluidverbindung. Hierzu kann beispielsweise beidseits des thermischen Schilds 21 ein derartiger Sammler 33 vorgesehen sein. Die Rücklaufleitungen 34, 35 verlaufen vorzugsweise parallel zueinander. Ein Innendurchmesser d34, d35 der Rücklaufleitungen 34, 35 ist dabei größer als ein Innendurchmesser d26 der Kühlleitung 26. Dabei ist der Innendurchmesser d26 der Kühlleitung 26

vorzugsweise größer als 10 Millimeter. Der Innendurchmesser d26 kann beispielsweise 12 Millimeter betragen.

[0066] Das Kühlsystem 13 umfasst weiterhin ein Abblasventil 36, mit dessen Hilfe der gasförmige Stickstoff GN2 aus dem Kühlmittelbehälter 14 druckabhängig abgeblasen werden kann. Das Abblasventil 36 ist geeignet, den gasförmigen Stickstoff GN2 an die Umgebung abzublasen. Alternativ kann das zuvor erwähnte aktiv gekühlte Isolationselement, das zwischen dem Außenbehälter 2 und dem thermischen Schild 21 angeordnet ist, an das Abblasventil 36 angeschlossen sein. Abgeblasener tiefkalter gasförmiger Stickstoff GN2 wird dann durch das Isolationselement hindurchgeführt, um dieses aktiv zu kühlen. Der dabei erwärmte gasförmige Stickstoff GN2 kann dann nach dem Durchlauf durch die Kühlleitung des Isolationselements an die Umgebung abgegeben werden. Dadurch, dass der gasförmige Stickstoff GN2 dann bei dem Austritt aus dem Isolationselement nicht mehr tiefkalt, sondern erwärmt ist, kann eine unerwünschte Vereisung der Austrittsstelle verhindert werden.

[0067] Die Funktionsweise des Transportbehälters 1 wird im Folgenden erläutert. Vor dem Befüllen des Innenbehälters 6 mit Helium He wird zunächst der thermische Schild 21 mit Hilfe von tiefkaltem, anfangs gasförmigem und später flüssigem Stickstoff N2 zumindest annähernd oder ganz bis auf den Siedepunkt (1,3 bara, 7,95 K) des flüssigen Stickstoffs LN2 abgekühlt. Der Innenbehälter 6 wird dabei noch nicht aktiv gekühlt. Bei dem Abkühlen des thermischen Schilds 21 wird das sich noch in den Zwischenräumen 12, 20, 25 befindende Vakuum-Restgas an dem thermischen Schild 21 ausgefroren. Hierdurch kann bei einem Befüllen des Innenbehälters 6 mit dem Helium He verhindert werden, dass das Vakuum-Restgas außenseitig auf dem Innenbehälter 6 ausfriert und somit diesen verunreinigt. Sobald der thermische Schild 21 und der Kühlmittelbehälter 14 vollständig abgekühlt sind und der Kühlmittelbehälter 14 wieder vollständig mit Stickstoff N2 aufgefüllt ist, wird der Innenbehälter 6 mit dem flüssigen Helium He befüllt.

[0068] Der Transportbehälter 1 kann zum Transportieren des Heliums He nun auf ein Transportfahrzeug, wie beispielsweise einen Lastkraftwagen oder ein Schiff, verbracht werden. Hierbei wird der thermische Schild 21 kontinuierlich mit Hilfe des flüssigen Stickstoffs LN2 gekühlt. Der flüssige Stickstoff LN2 siedet dabei in der Kühlleitung 26 beziehungsweise in den Kühlleitungen 26. Dabei entstehende Gasblasen werden als gasförmiger Stickstoff GN2 dem höchsten Punkt des Kühlsystems 13, nämlich dem Sammler 33, zugeführt. Hierbei ist stets gewährleistet, dass die Kühlleitung 26 beziehungsweise die Kühlleitungen 26 über ihre gesamte Länge mit flüssigem Stickstoff LN2 beaufschlagt sind und dadurch eine etwa dem Siedepunkt des Stickstoffs N2 entsprechende Temperatur aufweisen.

[0069] Die Gasblasen reißen dabei flüssigen Stickstoff LN2 aus der Kühlleitung 26 beziehungsweise aus den Kühlleitungen 26 mit und fördern diesen somit in die

Rücklaufleitungen 34, 35. Der flüssige Stickstoff LN2 wird dabei von den entstehenden Gasblasen bis zu einer statischen Höhe von etwa zwei Meter mitgerissen. Hierdurch ergibt sich keine kontinuierliche, sondern eine diskontinuierliche Förderung des flüssigen Stickstoffs LN2. Der flüssige Stickstoff LN2 wird schwallartig oder schwallweise gefördert. Der in die Rücklaufleitungen 34, 35 geförderte flüssige Stickstoff LN2 sowie der gasförmige Stickstoff GN2 werden über die Rücklaufleitungen 34, 35 wieder dem Kühlmittelbehälter 14 zugeführt. Der flüssige Stickstoff LN2 verdampft teilweise in den Rücklaufleitungen 34, 35. Nicht verdampfte Anteile des flüssigen Stickstoffs LN2 fallen in den Kühlmittelbehälter 14 zurück. Dadurch, dass die Rücklaufleitungen 34, 35 einen größeren Innendurchmesser d34, d35 als die Kühlleitung 26 aufweisen, kann der mitgerissene flüssige Stickstoff LN2 frei in die Rücklaufleitungen 34, 35 gefördert werden.

[0070] Es ergibt sich somit ein Naturumlauf des Stickstoffs N2. Das heißt, der Stickstoff N2 wird von der Kühlleitung 26 beziehungsweise den Kühlleitungen 26 und den Rücklaufleitungen 34, 35 ohne eine bewegliche Teile aufweisende Pumpe im Kreis gefördert. Der flüssige Stickstoff LN2 wird nur mit Hilfe des gasförmigen Stickstoffs GN2 gefördert. Die Kühlleitung 26 beziehungsweise die Kühlleitungen 26 und die Rücklaufleitungen 34, 35 wirken als sogenannte Blasenpumpe oder Mammutpumpe, die dazu geeignet ist, den flüssigen Stickstoff LN2 zu fördern. Dieser zuvor beschriebene Naturumlauf funktioniert ohne oder zumindest annähernd ohne Überdruck. Daher kann der Druck in dem Kühlmittelbehälter 14 von üblicherweise erforderlichen 1,3 bara auf 1,1 bara gesenkt werden. Diese Absenkung des Drucks in dem Kühlmittelbehälter 14 führt zu einer Erniedrigung der Siedetemperatur des flüssigen Stickstoffs LN2 um 1,5 K. Der Wärmeeinfall auf das Helium He verringert sich dadurch um etwa 5%, so dass die Helium-Haltezeit im Vergleich zu einer Anordnung ohne derartige Rücklaufleitungen 34, 35 signifikant, nämlich um etwa drei Tage, ansteigt.

[0071] Bei dem Transportbehälter 1 kann vorteilhafterweise auf einen Phasenseparator zum Abtrennen des flüssigen Stickstoffs LN2 von dem gasförmigen Stickstoff N2 verzichtet werden. Ein derartiger Phasenseparator umfasst bewegliche Bauteile, die einem Verschleiß unterworfen sind. Das heißt, der Phasenseparator weist eine begrenzte Lebensdauer auf. Durch den Verzicht auf einen Phasenseparator reduzieren sich somit sowohl die Kosten zur Herstellung als auch zur Wartung eines derartigen Transportbehälters 1. Ferner ist durch den Verzicht auf den Phasenseparator, der üblicherweise außenseitig an dem Außenbehälter 2 als Zusatzbauteil angeordnet ist, auch eine Beschädigung desselben ausgeschlossen. Das Handling des Transportbehälters 1 vereinfacht sich hierdurch. Auch ist der durch den Phasenseparator verursachte Wärmeeinfall in das Kühlsystem 13 nicht zu vernachlässigen. Auch aus diesem Grund ist der Verzicht auf den Phasenseparator vorteilhaft.

[0072] Da nur an einer Stelle, nämlich an dem Abblasventil 36, tiefkalter gasförmiger Stickstoff abgegeben wird ist die Umsetzung der aktiven Kühlung des zwischen dem thermischen Schild 21 und dem Außenbehälter 2 angeordneten Isolationselements einfacher, da nur eine Kühlleitung zu verlegen ist. Für den Fall, dass ein derartiges aktiv gekühltes Isolationselement vorgesehen ist, tritt aus dem Transportbehälter 1 nur erwärmter gasförmiger Stickstoff GN2 aus, so dass neben der drastisch erhöhten Haltezeit für den flüssigen Stickstoff LN2 auch, wie zuvor schon erwähnt, keine unerwünschten Vereinigungen am Transportbehälter 1 auftreten können.

[0073] Obwohl die vorliegende Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben wurde, ist sie vielfältig modifizierbar.

Verwendete Bezugszeichen

[0074]

1	Transportbehälter
2	Außenbehälter
3	Basisabschnitt
4	Deckelabschnitt
5	Deckelabschnitt
6	Innenbehälter
7	Gaszone
8	Flüssigkeitszone
9	Basisabschnitt
10	Deckelabschnitt
11	Deckelabschnitt
12	Zwischenraum
13	Kühlsystem
14	Kühlmittelbehälter
15	Basisabschnitt
16	Deckelabschnitt
17	Deckelabschnitt
18	Gaszone
19	Flüssigkeitszone
20	Zwischenraum
21	thermischer Schild
22	Basisabschnitt
23	Deckelabschnitt
24	Deckelabschnitt
25	Zwischenraum
26	Kühlleitung
27	Abschnitt
28	Abschnitt
29	Abschnitt
30	Abschnitt
31	Anschlussleitung
32	Verteiler
33	Sammler
34	Rücklaufleitung
35	Rücklaufleitung
36	Abblasventil
A	Axialrichtung

d26	Innendurchmesser
d34	Innendurchmesser
d35	Innendurchmesser
g	Schwerkraftrichtung
GN2	Stickstoff
H1	Horizontale
H2	Horizontale
He	Helium
LN2	Stickstoff
L2	Länge
M1	Symmetrieachse
N2	Stickstoff
α	Neigungswinkel
β	Neigungswinkel

Patentansprüche

1. Transportbehälter (1) für Helium (He), mit einem Innenbehälter (6) zum Aufnehmen des Heliums (He), einem Kühlmittelbehälter (14) zum Aufnehmen eines kryogenen Fluids (N2), einem Außenbehälter (2), in dem der Innenbehälter (6) und der Kühlmittelbehälter (14) aufgenommen sind, einem thermischen Schild (21), in dem der Innenbehälter (6) aufgenommen ist und der mit Hilfe des kryogenen Fluids (N2) aktiv kühlbar ist, wobei der thermische Schild (21) zumindest eine Kühlleitung (26) aufweist, die mit dem Kühlmittelbehälter (14) in Fluidverbindung ist und in der zum aktiven Kühlen des thermischen Schilds (21) das kryogene Fluid (N2) aufnehmbar ist, und zumindest einer Rücklaufleitung (34, 35), mit deren Hilfe die zumindest eine Kühlleitung (26) mit dem Kühlmittelbehälter (14) in Fluidverbindung ist, um das kryogene Fluid (N2) wieder dem Kühlmittelbehälter (14) zuzuführen.
2. Transportbehälter nach Anspruch 1, wobei die zumindest eine Kühlleitung (26) mit einer Flüssigkeitszone (19) des Kühlmittelbehälters (14) in Fluidverbindung ist, und wobei die zumindest eine Rücklaufleitung (34, 35) mit einer Gaszone (18) des Kühlmittelbehälters (14) in Fluidverbindung ist.
3. Transportbehälter nach Anspruch 1 oder 2, wobei die zumindest eine Rücklaufleitung (34, 35) bezüglich einer Schwerkraftrichtung (g) oberhalb der zumindest einen Kühlleitung (26) in den Kühlmittelbehälter (14) mündet.
4. Transportbehälter nach einem der Ansprüche 1 - 3, wobei ein tiefster Punkt der zumindest einen Kühlleitung (26) mit dem Kühlmittelbehälter (14) in Fluidverbindung ist.
5. Transportbehälter nach einem der Ansprüche 1 - 4, wobei ein höchster Punkt der zumindest einen Kühlleitung (26) mit Hilfe der zumindest einen Rücklaufleitung (34, 35) mit dem Kühlmittelbehälter (14) in Fluidverbindung ist.
6. Transportbehälter nach einem der Ansprüche 1 - 5, wobei ein Innendurchmesser (d34, d35) der zumindest einen Rücklaufleitung (34, 35) größer als ein Innendurchmesser (d26) der zumindest einen Kühlleitung (26) ist.
7. Transportbehälter nach Anspruch 6, wobei der Innendurchmesser (d26) der zumindest einen Kühlleitung (26) größer als 10 Millimeter ist.
8. Transportbehälter nach einem der Ansprüche 1 - 7, wobei die zumindest eine Rücklaufleitung (34, 35) in einem Neigungswinkel (β) in Richtung des Kühlmittelbehälters (14) angeordnet ist.
9. Transportbehälter nach einem der Ansprüche 1 - 8, wobei die zumindest eine Rücklaufleitung (34, 35) mit dem thermischen Schild (21) verbunden und zwischen dem thermischen Schild (21) und dem Außenbehälter (2) angeordnet ist.
10. Transportbehälter nach einem der Ansprüche 1 - 9, wobei das kryogene Fluid (N2) im Betrieb des Transportbehälters (1) zum aktiven Kühlen des thermischen Schilds (21) in der zumindest einen Kühlleitung (26) siedet, so dass in der zumindest einen Kühlleitung (26) entstehende Gasblasen einer gasförmigen Phase (GN2) des kryogenen Fluids (N2) eine flüssige Phase (LN2) des kryogenen Fluids (N2) in die zumindest eine Rücklaufleitung (34, 35) fördern, um die gasförmige Phase (GN2) des kryogenen Fluids (N2) und/oder die flüssige Phase (LN2) des kryogenen Fluids (N2) wieder dem Kühlmittelbehälter (14) zuzuführen.
11. Transportbehälter nach einem der Ansprüche 1 - 10, wobei eine erste Rücklaufleitung (34) und eine zweite Rücklaufleitung (35) vorgesehen sind, die parallel zueinander verlaufen.
12. Transportbehälter nach einem der Ansprüche 1 - 11, wobei der Kühlmittelbehälter (14) ein Abblasventil (36) zum Abblasen einer gasförmigen Phase (GN2) des kryogenen Fluids (N2) aus dem Kühlmittelbehälter (14) aufweist.
13. Transportbehälter nach einem der Ansprüche 1 - 12, wobei der Innenbehälter (6) vollständig von dem thermischen Schild (21) umgeben ist.
14. Transportbehälter nach Anspruch 13, wobei der thermische Schild (21) einen von dem Kühlmittelbehälter (14) getrennten Deckelabschnitt (24) aufweist, der zwischen dem Innenbehälter (6) und dem Kühlmittelbehälter (14) angeordnet ist.

15. Transportbehälter nach einem der Ansprüche 1 - 14, wobei der Kühlmittelbehälter (14) außerhalb des thermischen Schilds (21) angeordnet ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

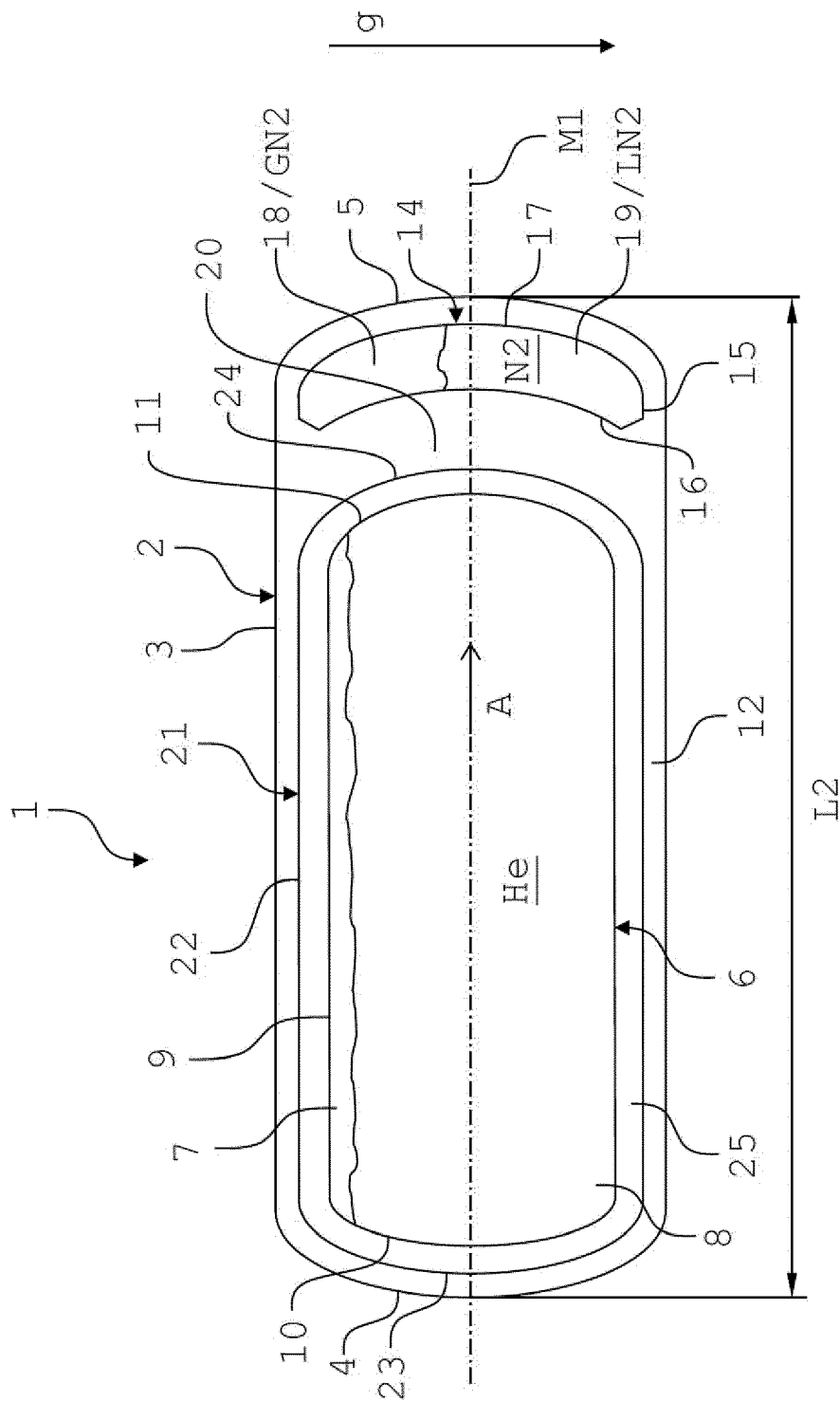


Fig. 1

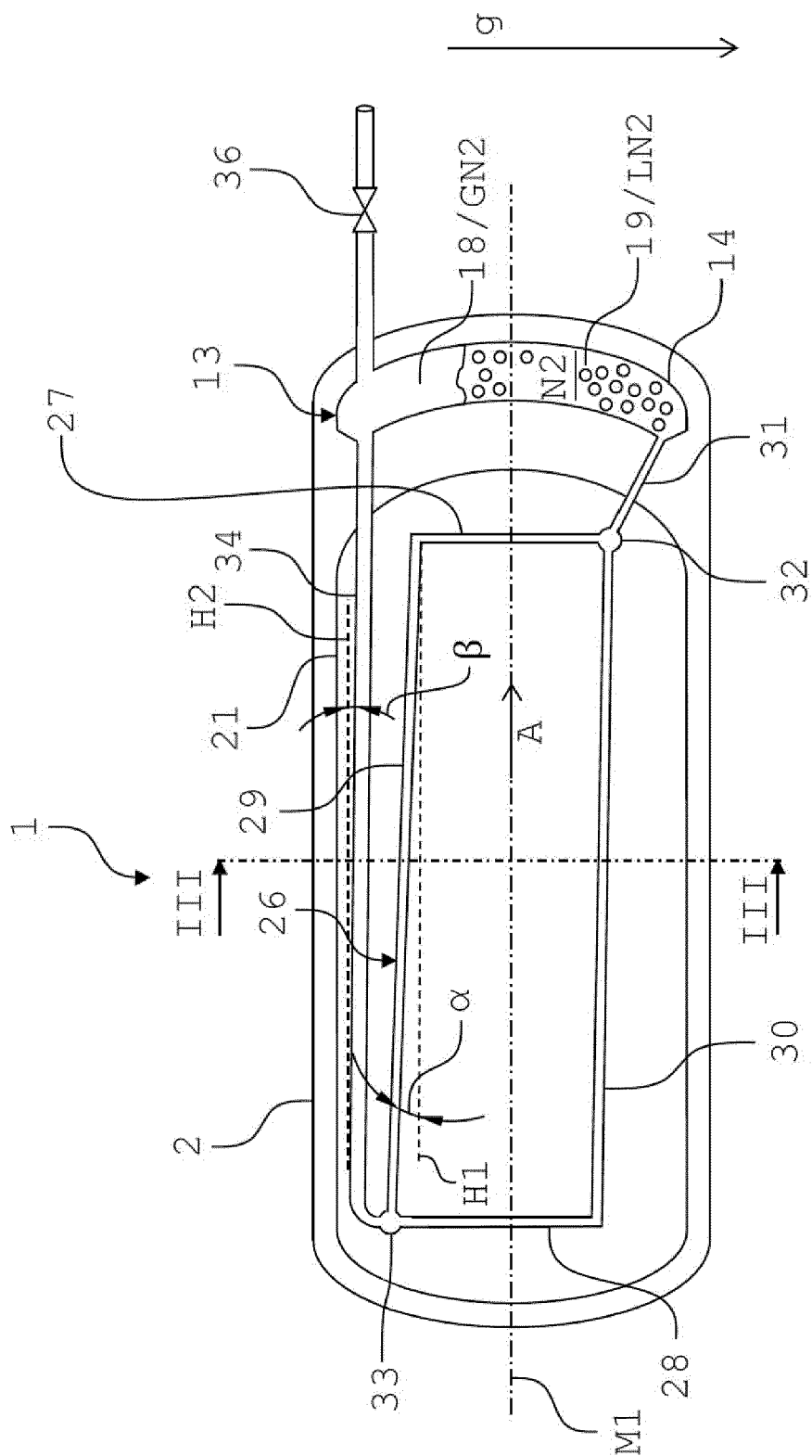


Fig. 2

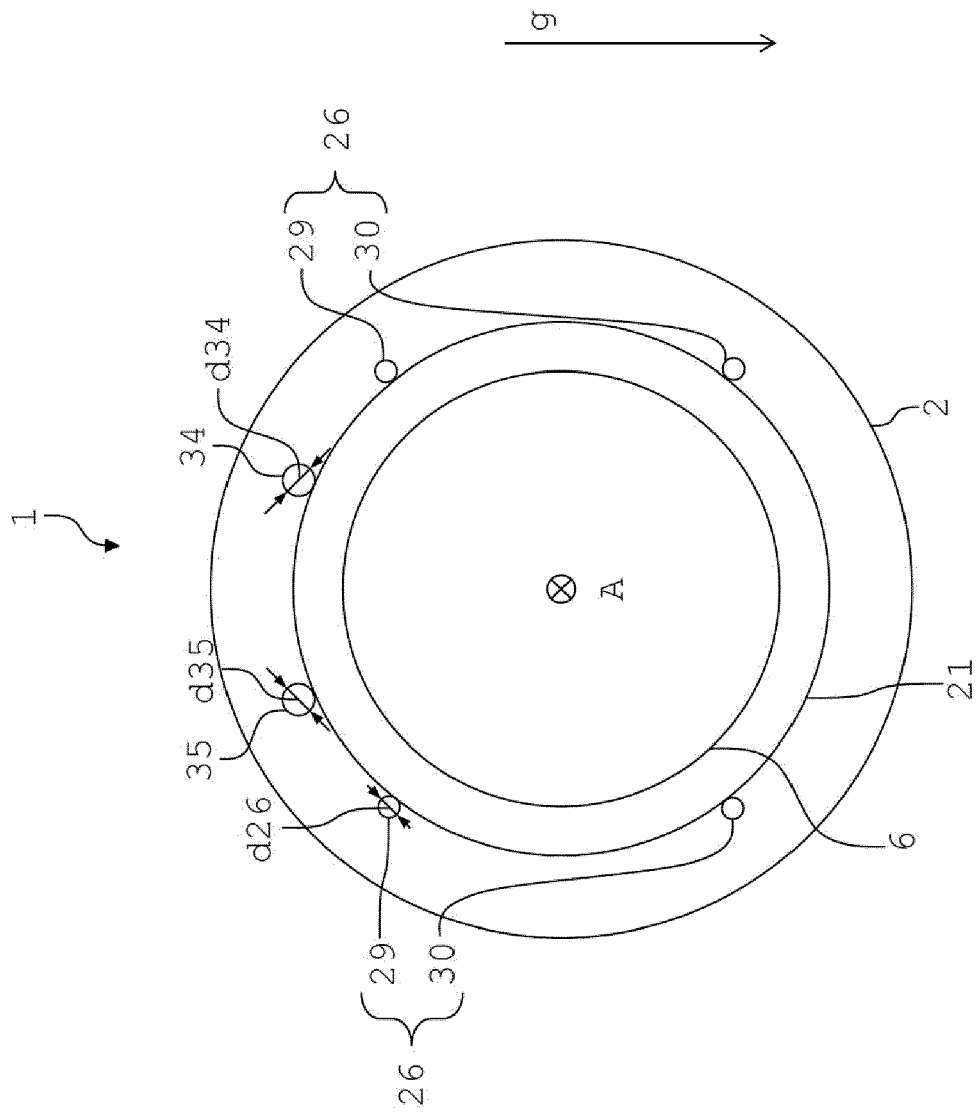


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 17 02 0563

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	US 4 718 239 A (NOWOBILSKI JEFFERT J [US] ET AL) 12. Januar 1988 (1988-01-12) * Spalte 2, Zeile 22 - Spalte 3, Zeile 63; Abbildungen 1-3 *	1-15	INV. F17C1/12 F17C13/00
A	WO 2017/190849 A1 (LINDE AG [DE]) 9. November 2017 (2017-11-09) * das ganze Dokument *	1	
A	US 3 782 128 A (HAMPTON R ET AL) 1. Januar 1974 (1974-01-01) * das ganze Dokument *	1	
A	US 2 871 669 A (DOUGLAS MANN ET AL) 3. Februar 1959 (1959-02-03) * das ganze Dokument *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F17C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 24. Mai 2018	Prüfer de Graaf, Jan Douwe
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 03.92 (P04C03)

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

EP 17 02 0563

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.

24-05-2018

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	US 4718239	A	12-01-1988	KEINE	

15	WO 2017190849	A1	09-11-2017	KEINE	

	US 3782128	A	01-01-1974	KEINE	

	US 2871669	A	03-02-1959	KEINE	
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