

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50923/2021
(22) Anmeldetag: 17.11.2021
(45) Veröffentlicht am: 15.01.2024

(51) Int. Cl.: **F25J 1/00** (2006.01)
F25B 9/04 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2018214841 A1
US 2018216877 A1
US 3455117 A

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
LEE KangKi
8045 Graz (AT)
SEGURA CARRASCO Maria Isabel
8044 Graz (AT)
HOOGERBRUGGE Marinus
8402 Werndorf (AT)
FIGER Günter Dr.
8010 Graz (AT)
DAM Jacques
2624ZS Delft (NL)

(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.Ing.
8020 Graz (AT)

(54) Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung von Slush-LNG

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung (56) zur Erzeugung von Slush-LNG, umfassend: Eine LNG-Versorgungseinrichtung zum Bereitstellen von LNG; eine Kühleinrichtung zum kühlen des LNG; und ein Wirbelrohr (10) mit einer zylindrischen Gaseinlasskammer (11); einer zylindrischen Wirbelkammer (12) in der zylindrischen Gaseinlasskammer (11), einem Hauptrohr (20), das mit der radialen Mittel der zylindrischen Wirbelkammer (12) verbunden ist, einem Wirbelgenerator (14) in der zylindrischen Wirbelkammer (12), ein oder mehreren Einlässen (16), wobei jeder der ein oder mehreren Einlässe (16) tangential an die zylindrische Gaseinlasskammer (11) anschließt, einem Kaltauslass (26) an einem ersten Ende des Hauptrohrs (20) und einem Heißauslass (22) an einem zweiten Ende des Hauptrohrs (20); wobei die LNG-Versorgungseinrichtung über die Kühleinrichtung mit dem einen oder den mehreren Einlässen (16) des Wirbelrohrs (10) in Verbindung steht.

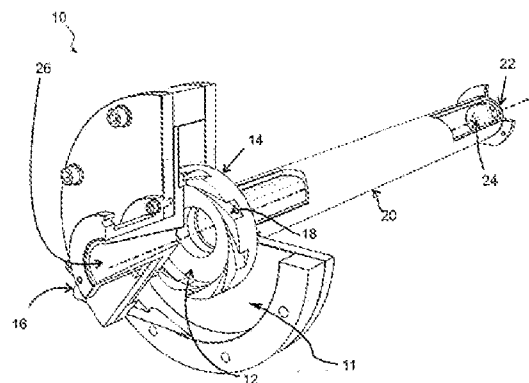


Fig. 1

Beschreibung

VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG VON SLUSH-LNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erzeugung von Erdgas-Slush (Slush-LNG) mittels einer Wirbelkammer.

[0002] Flüssigerdgas (liquified natural gas, LNG) ist ein alternativer Treibstoff zu Schweröl, Diesel und anderen insbesondere in Großmotoren eingesetzten Treibstoffen. LNG besteht im Wesentlichen aus Methan, chemisch CH_4 . Darüber hinaus enthält LNG in deutlich geringeren Anteilen schwerere Kohlenwasserstoffverbindungen, N_2 , CO_2 , H_2O und Schwefelverbindungen. Da LNG im Wesentlichen aus Methan besteht, eignet sich das hier beschriebene Verfahren auch zur Herstellung von Slush-Methan.

[0003] Im Zuge der Energiewende kann LNG als Übergangstreibstoff genutzt werden. Derzeit wird bei den meisten Neubauten großer Handelsschiffe LNG als Haupttreibstoff verwendet. LNG hat Vorteile gegenüber den bisher genutzten Treibstoffen, da es gegenüber diesen sauberer verbrennt und eine weniger stark klimaschädigende Wirkung hat. Im Unterschied zu Schweröl und Dieselöl werden bei der Verbrennung von LNG keine Schwefeldioxide und Ruß-Partikel erzeugt, ferner wird gegenüber diesen Treibstoffen die Emission von Stickoxiden um bis zu 80% reduziert, und die Emission von CO_2 um knapp 30% reduziert. Ferner kann LNG grundsätzlich auch mit anderen kohlenstofffreien Treibstoffen gemischt werden, was ermöglicht, dessen Klimabilanz weiter zu verbessern. Die Lagerung von LNG an Bord von Schiffen ist jedoch mit Schwierigkeiten verbunden, da in großen Handelsschiffen wegen deren hohen Kraftstoffverbrauchs auch große Mengen LNG gelagert werden müssen und die Energiedichte von LNG gegenüber den traditionellen Treibstoffen Schweröl und Diesel reduziert ist. Slush-LNG löst dieses Problem, da die Energiedichte von LNG durch die Verarbeitung zu einem Slush erhöht wird und somit die Energiedichte-Lücke zu den traditionellen Brennstoffen geschlossen wird.

[0004] Slush-LNG bezeichnet ein Gemisch aus flüssigen und festen Bestandteilen von Erdgas. Die festen Bestandteile des Slush-LNG haben eine höhere Dichte und Energiedichte als die flüssigen Bestandteile. Die flüssigen Bestandteile sorgen dafür, dass das Slush-LNG insgesamt flüide und damit leicht transportierbar bleibt. Ferner ist die Verdampfungsrate von Slush-LNG geringer als von LNG, was zu geringeren Verlusten während der Speicherung und dadurch ebenfalls zu einer im Vergleich zu LNG verbesserten Klimabilanz beiträgt.

[0005] Aus dem Stand der Technik sind Verfahren zur Herstellung von Slush-LNG bekannt.

[0006] Aus der japanischen Patentanmeldung JP2003314954 ist eine Slush-LNG-Herstellungsverfahren bekannt. Die Vorrichtung umfasst einen Flüssigstickstofftank in einem Flüssigerdgastank, wobei ein Feststoff durch Verfestigung des Flüssigerdgases auf einer wärmeübertragenden Oberfläche des Flüssigstickstofftanks erzeugt und durch eine Schnecke abgeschabt wird, um mit dem Flüssigerdgas gemischt zu werden.

[0007] Dokument US20180216877 A1 offenbart ein Verfahren zur Verarbeitung eines flüssigen Erdgasstroms in einem LNG-Importterminal. Das Verfahren umfasst das Betreiben einer Verdampfungseinheit zur Gewinnung eines unter Druck stehenden verdampften Erdgasstroms und das Betreiben einer Aufschlammungseinheit zur Gewinnung einer Aufschlammung aus Flüssigkeit und Feststoffen und einer gekühlten Dampfphase, wobei die gekühlte Dampfphase aus der Aufschlammungseinheit abgezogen und ein gekühlter Dampfstrom erzeugt wird und der gekühlte Dampfstrom zur Verdampfungseinheit geleitet wird.

[0008] Ferner ist aus Dokument US3455117 A eine Vorrichtung zur Herstellung von Slush-Wasserstoff zur Verwendung als Raketentreibstoff bekannt. Die Vorrichtung umfasst einen zweistufigen Schallkompressor, der Wasserstoff in der Gasphase an das Einlassende einer Wendelspirale liefert. Das Wasserstoffgas mit hohem Impuls wird zusammen mit dem Wasserstoff in flüssiger Phase durch eine einstellbare Düse in eine spiralförmige Spule eingespritzt. Das Gas bewegt sich mit einer sehr hohen Geschwindigkeit durch die Spule, was zusammen mit der schrauben-

förmigen Konfiguration der Spulen dafür sorgt, dass der flüssige und der gasförmige Wasserstoff getrennt bleiben, so dass das Wasserstoffgas den flüssigen Wasserstoff auf seinem Weg durch die Spulen abkühlt. Die kühle Wasserstoffflüssigkeit wird dann in einen Wirbelstromgenerator geleitet, der kontinuierlich Slush-Wasserstoff erzeugt.

[0009] Eine Herstellung von Slush-LNG mittels einer aus dem Stand der Technik bekannten Vorrichtung ist jedoch mit hohen Kosten verbunden. Ferner wird LNG in vielen industriellen Einrichtungen mit hohen Drücken, beispielsweise von 60 bar verarbeitet und/oder bereitgestellt. Die aus dem Stand der Technik bekannten Vorrichtungen stellen Slush-LNG bei deutlich niedrigeren Drücken bereit, was zu Kompatibilitätsproblemen führt.

[0010] Die Erfindung löst das Problem durch eine Vorrichtung nach Anspruch 1.

[0011] Die Erfindung liefert eine Vorrichtung zur Erzeugung von Slush-LNG, umfassend: Eine LNG-Versorgungseinrichtung zum Bereitstellen von LNG; eine Kühleinrichtung zum Kühlen des LNG; und ein Wirbelrohr mit einer zylindrischen Wirbelkammer, einem Hauptrohr, das mit der radialen Mittel der zylindrischen Wirbelkammer verbunden ist, einem Wirbelgenerator in der zylindrischen Wirbelkammer, ein oder mehreren Einlässen, wobei jeder der ein oder mehreren Einlässe tangential an die zylindrische Wirbelkammer anschließt, einem Kaltauslass an einem ersten Ende des Hauptrohrs und einem Heißauslass an einem zweiten Ende des Hauptrohrs; wobei die LNG-Versorgungseinrichtung über die Kühleinrichtung mit dem einen oder den mehreren Einlässen des Wirbelrohrs in Verbindung steht.

[0012] Mit dieser Vorrichtung lässt sich Slush-LNG auf einfache und kostengünstige Weise bei hohen Drücken bereitstellen.

[0013] Ein Wirbelrohr ist eine Vorrichtung, mit der sich ein Gas in einen kalten und einen heißen Strom aufteilen lässt. Ein Wirbelrohr hat grundsätzlich keine beweglichen Teile. Dessen Funktionsweise lässt sich allein auf die Erhaltung der Enthalpie in einem bewegten Bezugssystem zurückführen. Das in der Erfindung genutzte Wirbelrohr kann insbesondere ein Ranque-Hilsch Wirbelrohr sein.

[0014] Eine LNG-Versorgungseinrichtung ist eine Einrichtung, mit der LNG für die Vorrichtung bereitgestellt werden kann. Eine LNG-Versorgungseinrichtung kann beispielsweise ein LNG-Versorgungsanschluss, eine LNG-Versorgungsleitung oder ein LNG-Tank sein.

[0015] Die erfindungsgemäße Vorrichtung unterscheidet sich von dem vorbekannten Verfahren aus Dokument US20180216877 A1 insbesondere darin, dass in letzterem kein Wirbelrohr verwendet wird. Da sich die physikalischen Randbedingungen zur Erzeugung von Slush-Wasserstoff und Slush-LNG deutlich unterscheiden würde ein Fachmann auch nicht Dokument US3455117 A in Betracht ziehen, um das aus Dokument US20180216877 A1 vorbekannte Verfahren zu verbessern. Schließlich ist in Dokument US3455117 A auch eine andere Konfiguration der Vorrichtung offenbart, die keine zylindrische Gaseinlasskammer und keinen Wirbelgenerator in der zylindrischen Wirbelkammer aufweist.

[0016] Weiterhin liefert die Erfindung ein Verfahren zur Erzeugung von Slush-LNG, umfassend die Schritte: Bereitstellen von LNG an einer Vorrichtung zur Herstellung von Slush-LNG; Kühlen des LNG auf eine Temperatur von $-162,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; Einlassen des gekühlten LNG in ein Wirbelrohr; Erzeugen eines LNG-Wirbels in dem Wirbelrohr mit einem Kaltauslass und einem Heißauslass; und Auslassen des Slush-LNG an dem Kaltauslass.

[0017] In einer besonderen Ausführungsform der Vorrichtung kann vorgesehen sein, dass die Kühleinrichtung dazu eingerichtet ist, das LNG auf eine Temperatur von $-162,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu kühlen.

[0018] In einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung umfasst die Kühleinrichtung einen Wärmetauscher, der dazu eingerichtet ist, das LNG mit einem Kühlfluid zu kühlen.

[0019] Vorzugsweise umfasst der Wärmetauscher einen Rohr-in-Rohr-Wärmetauscher mit einem Innenrohr zum Transport von LNG, und ein um das Innenrohr angeordnetes Außenrohr zum Transport eines Kühlfluids.

[0020] Insbesondere umfasst der Wärmetauscher eine dem Wärmetauscher vorgeschaltete Heizeinrichtung zur Erhöhung der Temperatur des Kühlfluids.

[0021] Besonders bevorzugt umfasst das Kühlfluid flüssigen Stickstoff.

[0022] Ferner kann vorgesehen sein, dass die LNG-Versorgungseinrichtung einen LNG-Tank zur Speicherung von LNG umfasst.

[0023] In einer besonderen Ausführungsform der Erfindung wird bei dem Verfahren das LNG auf eine Temperatur zwischen -168 °C und -157 °C gekühlt, vorzugsweise auf eine Temperatur zwischen -165 °C und -160 °C und besonders bevorzugt auf eine Temperatur zwischen -162 °C und -163 °C .

[0024] Bei dem Verfahren kann vorgesehen sein, dass das Bereitstellen von LNG bei einem Druck zwischen 10 bar bis 80 bar, insbesondere bei einem Druck von 60 bar durchgeführt wird.

[0025] Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, dass Slush-LNG bei hohen Drücken und niedrigen Temperaturen auf einfache Weise durch Verwendung eines Wirbelrohres erzeugt werden kann.

[0026] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den beigefügten Ansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Es zeigen schematisch:

[0027] Figur 1 eine 3D-Schnittansicht eines Wirbelrohres zur Verwendung in einer Vorrichtung gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung;

[0028] Figur 2 2D-Schnittansichten eines Wirbelrohres nach Figur 1, mit Gasflüssen zur Verwendung in einer Vorrichtung gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung;

[0029] Figur 3 ein Phasendiagramm von Methan;

[0030] Figur 4 eine schematische Darstellung eines Rohr-in-Rohr Wärmetauschers zur Verwendung in einer Vorrichtung gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung; und

[0031] Figur 5 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Erzeugung von Slush-LNG gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung.

[0032] Figur 1 zeigt eine 3D-Schnittansicht eines Wirbelrohres 10 zur Verwendung in einer Vorrichtung gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung. Zentraler Bestandteil des Wirbelrohres 10 ist eine zylindrische Gaseinlasskammer 11 in der sich eine zylindrische Wirbelkammer 12 mit einem die Wirbelkammer 12 umgebenden Wirbelgenerator 14 befindet. In der zylindrischen Wirbelkammer 12 wird im Betrieb ein LNG-Wirbel durch Gasinjektion in einen Einlass 16, der tangential an die Gaseinlasskammer 11 anschließt, erzeugt. Der LNG-Wirbel trifft auf von außen nach innen am Wirbelgenerator konvergierende Düsen 18. Die diese konvergierenden Düsen 16 beschleunigen die Strömung LNG am Düsenausgang auf eine Geschwindigkeit von idealerweise $\text{Mach}=1$. Ein im Betrieb entstehender Wirbel führt zu einem starken radialen Druckgefälle, das wiederum zu einer thermischen Trennung innerhalb des Hauptrohrs 20 führt. Die entstehende Wirbelströmung strömt durch das mit der radialen Mitte des Wirbelgenerators 14 verbundene Hauptrohr 20 in Richtung des Heißauslass 22.

[0033] Mit der radialen Mitte der Wirbelkammer 12 ist das Hauptrohr 20 verbunden. Die zylindrische Gaseinlasskammer 11, die Wirbelkammer 12 und der Wirbelgenerator 14 haben eine gemeinsame radiale Mitte, die durch eine unterbrochene Linie gekennzeichnet ist, womit die zylindrische Gaseinlasskammer 11, die Wirbelkammer 12 und der Wirbelgenerator 14 zueinander zentriert sind.

[0034] Am Heißauslass 22 befindet sich ein zentral platzierter Stopfen 24, wobei der Stopfen 24 den Heißauslass 22 nicht vollständig verschließt, sondern ein radialer Spalt (nicht im Detail dar-

gestellt) offenbleibt, der einen Gasauslass erlaubt.

[0035] Auf einer dem Heißauslass 22 gegenüberliegenden Seite des Hauptrohrs 20 befindet sich der Kaltauslass 26.

[0036] Die Durchmesser und Längen der in dem Wirbelrohr genutzten Einrichtungen können entsprechend dem gewünschten Einsatzzweck und Durchsatz angepasst werden. Insbesondere sind auch die Durchmesser der Düsen 18 je nach gewünschtem Druck anzupassen.

[0037] Die Strömungen im Wirbelrohr 10 werden detaillierter an Figur 2 erläutert. Figur 2 zeigt 2D- Schnittansichten eines Wirbelrohrs 10 nach Figur 1 mit Gasflüssen. Figur 2a zeigt einen Schnitt durch die Radialebene der Gaseinlasskammer 11 und Wirbelkammer 12. Im Zentrum der Wirbelkammer 12 befindet sich das Hauptrohr 20. Ein durch die Einlässe 16 einströmendes Gas 28 wird durch die Düsen 18 der Wirbelkammer 12 verwirbelt und beschleunigt.

[0038] Figur 2b zeigt einen Schnitt senkrecht zur Radialebene der Wirbelkammer 12 durch das Zentrum des Hauptrohrs 20. Eine thermische Trennung des einströmenden Gases 28 führt zu einem äußeren heißen Wirbel 30 und einem inneren kalten Wirbel 32. Der äußere heiße Wirbel 30 kann am Stopfen 24 vorbei aus dem Wirbelrohr 10 ausströmen. Der innere kalte Wirbel 32 wird am Stopfen 24 reflektiert und strömt in einer zum heißen Wirbel 30 entgegengesetzten Richtung durch das Hauptrohr 20 und aus dem Kaltauslass 26.

[0039] Figur 3 zeigt ein Phasendiagramm 33 von Methan. Die Schmelzdruckkurve 34 zeigt dabei den Übergang zwischen fester und flüssiger Phase, die Sublimationskurve 36 den Bereich zwischen Gasphase und fester Phase und die Siedekurve 38 den Übergang zwischen flüssiger Phase und Gasphase.

[0040] Mit einem Wirbelrohr 10 ist es möglich, durch Injektion von vorgekühltem LNG und weiterer Kühlung im Wirbelrohr 10, Slush-LNG zu erzeugen. Im Phasendiagramm 33 ist zu erkennen, dass ein Phasenübergang von flüssig zu fest über einen relativ weiten Druckbereich bei einer Temperatur von 92K (= -181,15°C) stattfindet. Bis etwa 100 bar ist die Übergangstemperatur nur wenige K erhöht. Der Druck am Kaltauslass 26 des Wirbelrohrs 10, wo der Slush entstehen soll, kann unter Laborbedingungen beispielsweise etwa 1 bar betragen. Dieser Druck ist durch das Rechteck 40 im Phasendiagramm 33 hervorgehoben. Das Wirbelrohr 10 kann aber auch bei deutlich höheren Drücken betrieben werden. Um Slush-LNG zu erzeugen, sollte die Temperatur am Kaltauslass 26 des Wirbelrohrs 10 daher etwa 92 K betragen. Ein Teil des LNG muss daher zu einem Feststoff gefrieren und sich mit flüssigem LNG im Inneren des Hauptrohrs 20 vermischen, um den gewünschten Slush zu bilden. Der zur Erzeugung von Slush notwendige Temperaturunterschied ist für Drücke bis zu etwa 100 bar ähnlich. Industriell interessant ist ein Druck von etwa 60 bar, da in diesem Druckbereich Anlagen zum Befüllen und Transport von LNG betrieben werden. Eine Umstellung solcher Anlagen auf Slush-LNG wäre damit bei einer Erzeugung von Slush-LNG mit Drücken von 60 bar besonders einfach durchführbar.

[0041] Das Temperaturgefälle im Wirbelrohr 10 ist begrenzt, daher muss die Temperatur des LNG am Einlass 16 auf eine Temperatur knapp oberhalb der durch die Schmelzdruckkurve 34 vorgegebenen Schmelztemperatur liegen. Die Einstellung der Temperatur des LNG wird durch eine Vorkühlung erreicht.

[0042] Figur 4 zeigt eine schematische Darstellung eines Rohr-in-Rohr Wärmetauschers 42 zur Verwendung in einer Vorrichtung gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung. Der Rohr-in-Rohr Wärmetauscher 42 dient dazu, das Methan auf die richtige Temperatur abzukühlen, bevor das LNG in das Wirbelrohr 10 eintritt. Der Rohr-in-Rohr Wärmetauscher 42 eignet sich zur Kühlung von LNG bei prozessrelevanten Drücken bis etwa 80 bar.

[0043] Der Rohr-in-Rohr Wärmetauscher 42 umfasst ein Innenrohr 44 zum Transport von LNG und ein Außenrohr 46 zum Transport eines Kühlfluids. Das Außenrohr 46 ist um das Innenrohr 44 angeordnet, wodurch ein durch das Außenrohr 46 fließendes Kühlfluid das Innenrohr 44 auf die Temperatur des Kühlfluids kühlen kann. Das Innenrohr 44 weist einen Innenrohrenlass 48 auf, der mit einer LNG-Versorgungseinrichtung (hier nicht explizit gezeigt) verbunden sein kann

und einen Innenrohrhauseinlass 50, der mit einem Wirbelrohr 10 verbunden sein kann. Das Außenrohr 46 weist einen Außenrohrhauseinlass 52 und einen Außenrohrhauseinlass 54 auf, die zum Einlassen und Auslassen von Kühlfluid geeignet sind.

[0044] Grundsätzlich kann jedes Kühlfluid mit passender Temperatur in dem Rohr-in-Rohr Wärmetauscher 42 genutzt werden. Aufgrund der zu erzielenden Temperaturen und einer guten Verfügbarkeit ist flüssiger Stickstoff zur Kühlung grundsätzlich besonders gut geeignet. Da die Temperatur von flüssigem Stickstoff bei Normaldruck 77 K beträgt, ist flüssiger Stickstoff zur Vorkühlung von LNG auf eine Temperatur, bei der LNG weiterhin flüssig ist, einige Grad Celsius zu kalt. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird jedoch flüssiger Stickstoff zur Vorkühlung des LNG verwendet. Um die gewünschte Temperatur von etwa $(162,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ zu erreichen, umfasst der Wärmetauscher eine dem Wärmetauscher vorgeschaltete Heizeinrichtung (hier nicht explizit dargestellt). Die Heizeinrichtung dient der Erhöhung der Temperatur des Kühlfluids. Grundsätzlich wird eine Temperatur des Kühlfluids und damit des LNG vor Einlass in das Wirbelrohr 10 von $(-162,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ angestrebt. Ein Betrieb des Wirbelrohrs 10 ist aber grundsätzlich auch in einem größeren Temperaturbereich von $(-162,5 \pm 15)^\circ\text{C}$ möglich.

[0045] Die Durchmesser und Längen der in dem Rohr-in-Rohr Wärmetauscher 42 genutzten Rohre 46, 48 können, ebenso wie die Größe des Wirbelrohrs 10 entsprechend dem gewünschten Einsatzzweck und Durchsatz angepasst. Insbesondere kann der Rohr-in-Rohr Wärmetauscher 42 mehrere parallel geführte Rohre umfassen, wodurch der Durchsatz an gekühltem LNG erhöht werden kann. Ferner kann neben dem gezeigten Rohr-in-Rohr-Wärmetauscher 42 je nach Einsatzzweck eine Vielzahl anderer Wärmetauscher eingesetzt werden.

[0046] Figur 5 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung 56 zur Erzeugung von Slush-LNG gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung. Die Vorrichtung 56 besteht aus einer LNG-Versorgungseinheit 58 und einer mit der LNG-Versorgungseinheit 58 verbundenen Slush-LNG-Erzeugungseinheit 60.

[0047] Die LNG-Versorgungseinheit umfasst einen Rohr-in-Rohr-Wärmetauscher 42, der an einem Innenrohrhauseinlass 48 mit einem LNG-Tank 62 verbunden ist. Der LNG-Tank 62 dient als LNG-Versorgungseinrichtung. Zur Kontrolle der Flüsse von LNG am Rohr-in-Rohr Wärmetauscher 42 sind an einer Verbindungsleitung vom LNG-Tank 62 zum Rohr-in-Rohr Wärmetauscher 42 ein Sperrventil 64, ein Masseflussmessgerät 66, ein Thermometer 68 und ein Druckmessgerät 70 angeordnet.

[0048] Der Rohr-in-Rohr-Wärmetauscher 42 ist ferner an einem Außenrohrhauseinlass 52 mit einem Flüssig-Stickstoff-Tank 72 zur Bereitstellung von flüssigem Stickstoff (LN, liquid nitrogen) verbunden. Zur Kontrolle der Flüsse von LN am Rohr-in-Rohr Wärmetauscher 42 sind an einer Verbindungsleitung vom Flüssig-Stickstoff-Tank 72 zum Rohr-in-Rohr Wärmetauscher 42 in dieser Reihenfolge ein Thermometer 48, eine Heizeinrichtung 74, ein weiteres Thermometer 68 und ein Druckmessgerät 70 angeordnet. Hierdurch lässt sich die Temperatur und der Druck des LN am Rohr-in-Rohr-Wärmetauscher 42 kontrollieren und regeln.

[0049] Am Außenrohrhauseinlass 54 des Rohr-in-Rohr-Wärmetauschers 42 ist eine Stickstoffauslassleitung 76 angeordnet. In einer im Betrieb bestehenden Flussrichtung befinden sich ausgehend vom Rohr-in-Rohr-Wärmetauscher 42 an der Stickstoffauslassleitung 76 ein Thermometer 68, ein Druckmessgerät 70, ein Sperrventil 64 und ein Masseflussmessgerät 66. Das Thermometer 68 an der Stickstoffauslassleitung 76 hat eine Kontrollfunktion im Prozess, die weiteren Einrichtungen an der Stickstoffauslassleitung 76 haben eine Kontroll- und/oder Regelungsfunktion.

[0050] Der Innenrohrhauseinlass 50 des Rohr-in-Rohr-Wärmetauschers 42 ist an eine LNG-Zuführleitung 78 angeschlossen, die dazu eingerichtet ist, gekühltes LNG vom Rohr-in-Rohr-Wärmetauschers 42 zur Slush-LNG-Erzeugungseinheit 60 und zum Wirbelrohr 10 zuzuführen. Die Temperatur des LNG beträgt im normalen Betrieb der Vorrichtung 56 vor Einlass in das Wirbelrohr 10 zwischen -162°C und -163°C (110-111 K). An der LNG-Zuführleitung 78 sind ein weiteres Thermometer 68 und ein weiteres Druckmessgerät 70 angeordnet, die dazu eingerichtet sind, die Temperatur bzw. der Druck des LNG vor Einlass in das Wirbelrohr 10 zu messen. Die LNG-

Zuführleitung 78 ist an den ein oder mehreren Einlässen 16 des Wirbelrohres 10 angeordnet. An mehreren Positionen im Wirbelrohr 10 sind weitere Druckmessgeräte 70 angeordnet, insbesondere sind die Druckmessgeräte 70 an verschiedenen Radien in der Wirbelkammer 12 angeordnet. Darüber hinaus ist eine weitere Druckmessröhre 70 und ein weiteres Thermometer 68 am Hauptrohr 20 des Wirbelrohrs 10 angeordnet.

[0051] Ein zu Testzwecken genutztes exemplarisches Wirbelrohr 10 weist einen Innendurchmesser des Hauptrohres 20 von 8 mm und eine Länge des Hauptrohres von 4 m auf. Der Durchmesser der Wirbelkammer 12 beträgt ebenfalls 12 mm, die Tiefe der Wirbelkammer beträgt 0,7 mm. Die Düsen 18 können für unterschiedliche Wirbelkammern 12 Durchmesser zwischen 0,1 mm bis 0,6 mm aufweisen. Die Dimensionen dieses für Testzwecke genutzten exemplarischen Wirbelrohres sind insbesondere für industrielle Anwendungen anzupassen.

[0052] Im normalen Betrieb der Vorrichtung 56 hat das LNG nach Austritt aus dem Heißauslass 22 üblicherweise eine Temperatur von -158°C (115 K) und bildet eine instabile Flüssigkeit. Der Heißauslass 22 des Wirbelrohres 10 ist mit einem weiteren Thermometer 68 und einer weiteren Druckmessröhre 70 und anschließend an ein Wärmebad 80 angeschlossen. An das Wärmebad 80 ist ein weiteres Sperrventil 64 und ein Masseflussmessgerät 66 angeschlossen. Im Betrieb wird das am Heißauslass 22 ausgelassene LNG einem LNG-Ausgang 82 zur Speicherung oder zur weiteren Verwendung zugeführt. Das Wärmebad 80 dient der Aufnahme der vom Heißauslass 22 abgeführten Wärme. Alle weiteren am Heißauslass 22 angeschlossenen Einrichtungen dienen der Prozesssteuerung und Prozesskontrolle.

[0053] Am Kaltauslass 26 des Wirbelrohres 10 sind ebenso wie am Heißauslass 22 ein Thermometer 68, eine Druckmessröhre 70 und ein Wärmebad 80 angeordnet, gefolgt von einem Sperrventil 64 und einem Masseflussmessgerät 66. Die Temperatur des LNG beträgt im normalen Betrieb der Vorrichtung 56 am Kaltauslass 26 etwa -178°C (95 K) bei etwa 30 bar. Bei dieser Temperatur findet selbstständig ein teilweiser Phasenübergang des LNG und eine Vermischung zu Slush-LNG statt. In dem beschriebenen Ausführungsbeispiel findet demnach eine Temperaturänderung im Wirbelrohr von -20°C statt. An das Masseflussmessgerät 66 schließt der Slush-LNG-Ausgang 84 an, an dem im Betrieb der Vorrichtung 56 Slush-LNG bereitgestellt werden kann.

BEZUGSZEICHENLISTE:

- 10 Wirbelrohr
- 11 Gaseinlasskammer
- 12 Wirbelkammer
- 14 Wirbelgenerator
- 16 Einlass
- 18 Düse
- 20 Hauptrohr
- 22 Heißauslass
- 24 Stopfen
- 26 Kaltauslass
- 28 einströmendes Gas
- 30 heißer Wirbel
- 32 kalter Wirbel
- 33 Phasendiagramm von Methan
- 34 Schmelzdruckkurve
- 36 Sublimationskurve
- 38 Siedekurve
- 40 Rechteck
- 42 Rohr-in-Rohr Wärmetauscher
- 44 Innenrohr
- 46 Außenrohr
- 48 Innenrohreinlass
- 50 Innenrohrauslass
- 52 Außenrohreinlass
- 54 Außenrohrauslass
- 56 Vorrichtung zur Erzeugung von Slush-LNG
- 58 LNG-Versorgungseinheit
- 60 Slush-LNG-Erzeugungseinheit
- 62 LNG-Tank

- 64 Sperrventil
- 66 Masseflussmessgerät
- 68 Thermometer
- 70 Druckmessgerät
- 72 Flüssig-Stickstoff-Tank
- 74 Heizeinrichtung
- 76 Stickstoffauslassleitung
- 78 LNG-Zuführleitung
- 80 Wärmebad
- 82 LNG-Ausgang
- 84 Slush-LNG

Patentansprüche

1. Vorrichtung (56) zur Erzeugung von Slush-LNG, umfassend:
Eine LNG-Versorgungseinrichtung zum Bereitstellen von LNG;
eine Kühleinrichtung zum Kühlen des LNG; und
ein Wirbelrohr (10) mit
einer zylindrischen Gaseinlasskammer (11);
einer zylindrischen Wirbelkammer (12) in der zylindrischen Gaseinlasskammer (11),
einem Hauptrohr (20), das mit der radialen Mitte der zylindrischen Wirbelkammer (12) verbunden ist,
einem Wirbelgenerator (14) in der zylindrischen Wirbelkammer (12),
ein oder mehreren Einlässen (16), wobei jeder der ein oder mehreren Einlässe (16)
tangential an die zylindrische Gaseinlasskammer (11) anschließt,
einem Kaltauslass (26) an einem ersten Ende des Hauptrohrs (20) und
einem Heißauslass (22) an einem zweiten Ende des Hauptrohrs (20); wobei
die LNG-Versorgungseinrichtung über die Kühleinrichtung mit dem einen oder den mehreren Einlässen (16) des Wirbelrohrs (10) in Verbindung steht.
2. Vorrichtung (56) nach Anspruch 1, wobei die Kühleinrichtung dazu eingerichtet ist, das LNG auf eine Temperatur von -162 °C zu kühlen.
3. Vorrichtung (56) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
die Kühleinrichtung einen Wärmetauscher umfasst, der dazu eingerichtet ist, das LNG mit einem Kühlfluid zu kühlen.
4. Vorrichtung (56) nach Anspruch 3, wobei der Wärmetauscher einen Rohr-in-Rohr-Wärmetauscher (42) mit einem Innenrohr (44) zum Transport von LNG, und
ein um das Innenrohr (44) angeordnetes Außenrohr (46) zum Transport eines Kühlfluids umfasst.
5. Vorrichtung (56) nach einem der Ansprüche 3 und 4, wobei der Wärmetauscher eine dem Wärmetauscher vorgeschaltete Heizeinrichtung (74) zur Erhöhung der Temperatur des Kühlfluids umfasst.
6. Vorrichtung (56) nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei das Kühlfluid flüssigen Stickstoff umfasst.
7. Vorrichtung (56) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die LNG-Versorgungseinrichtung einen LNG-Tank (62) zur Speicherung von LNG umfasst.
8. Verfahren zur Erzeugung von Slush-LNG, umfassend die Schritte:
Bereitstellen von LNG an einer Vorrichtung (56) zur Erzeugung von Slush-LNG nach einem der vorhergehenden Ansprüche;
Kühlen des LNG auf eine Temperatur von $-162,5\text{ °C}$;
Einlassen des gekühlten LNG in das Wirbelrohr (10);
Erzeugen eines LNG-Wirbels in dem Wirbelrohr (10); und
Auslassen von Slush-LNG an dem Kaltauslass (26).
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei
das Bereitstellen von LNG bei einem Druck zwischen 10 bar bis 80 bar, insbesondere bei einem Druck von 60 bar, durchgeführt wird.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

1/3

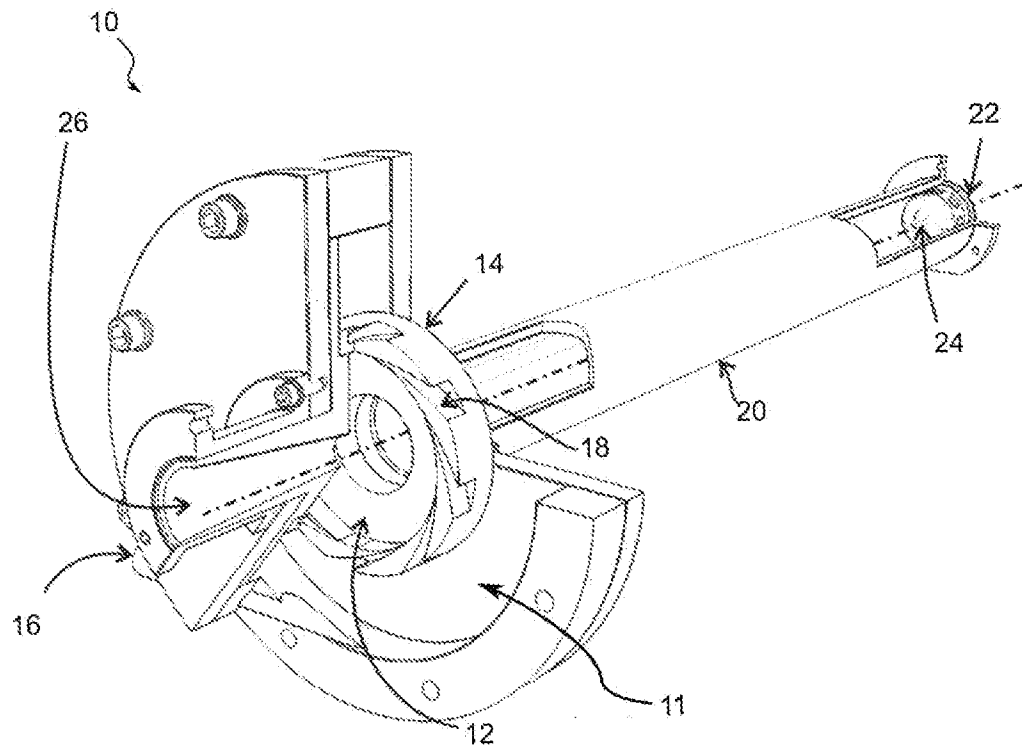


Fig. 1

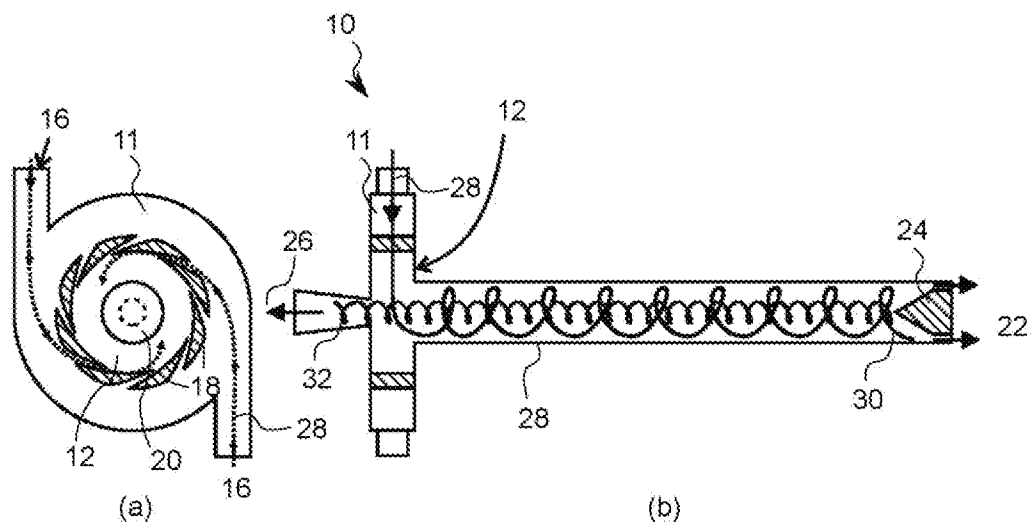


Fig. 2

2/3

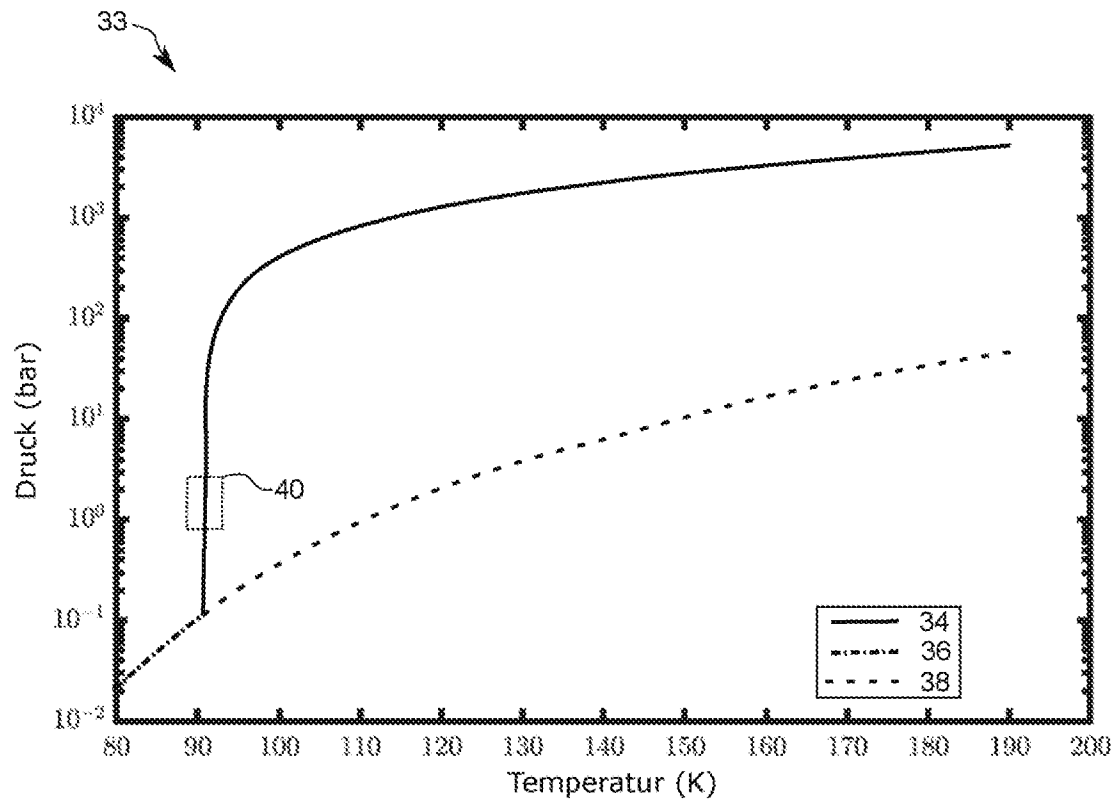


Fig. 3

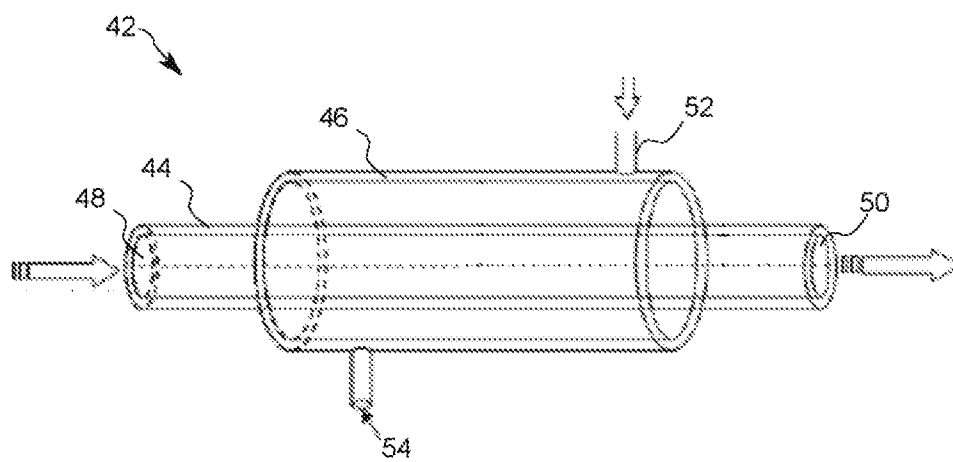
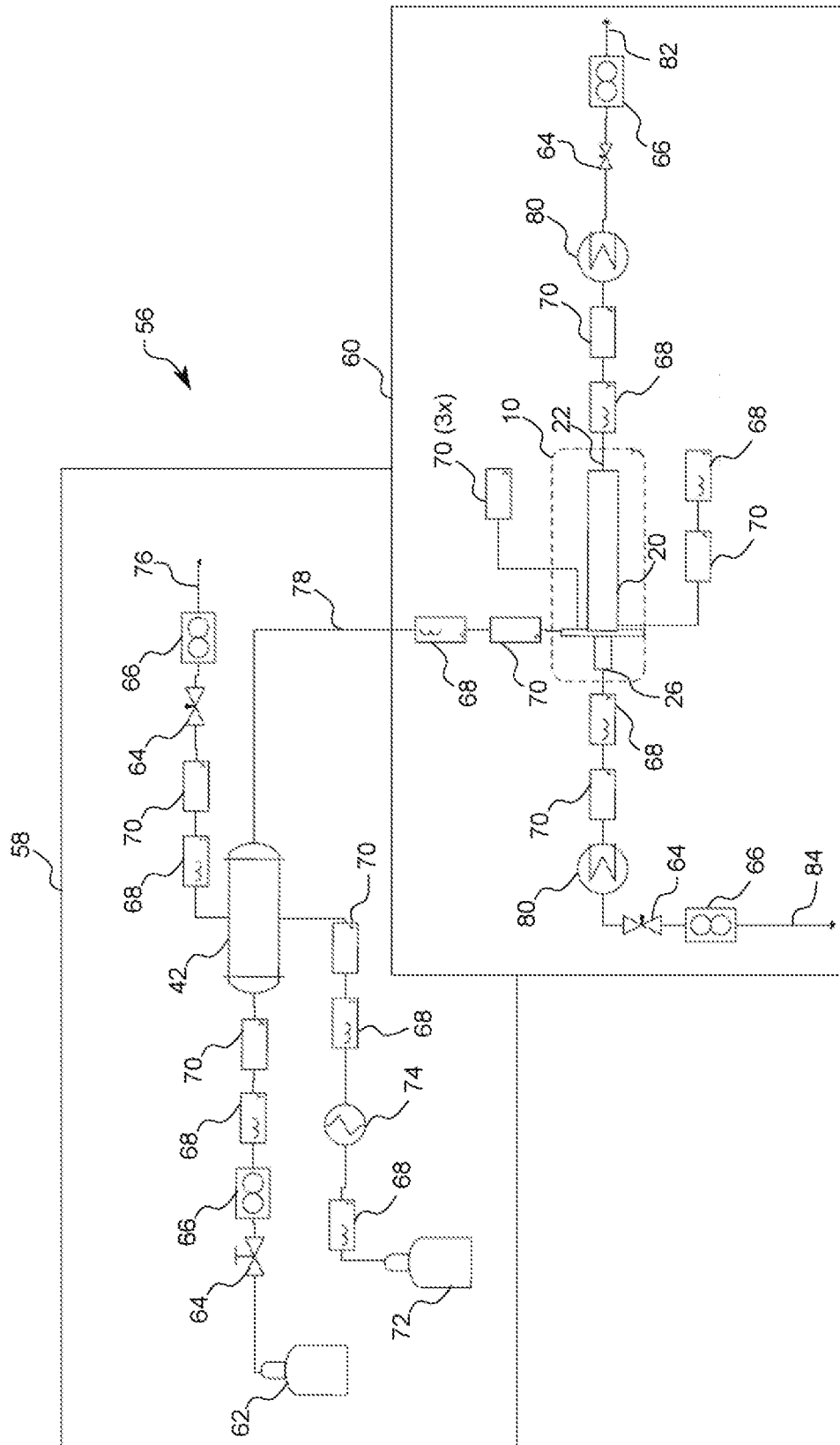


Fig. 4



10
11
12