



(10) **AT 512979 B1 2015-11-15**

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 8017/2013
(22) Anmeldetag: 05.06.2012
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2015

(51) Int. Cl.: **F17C 7/04** (2006.01)

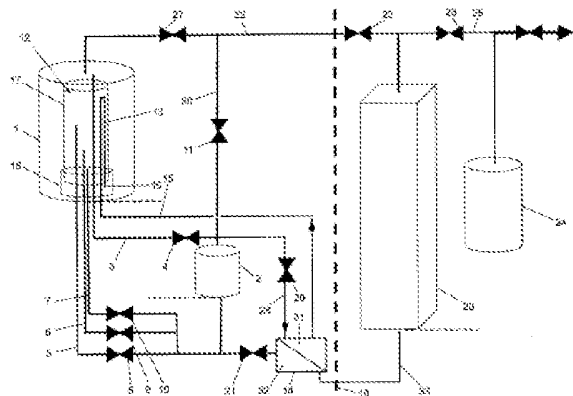
(66) Umwandlung von GM 243/2012
(56) Entgegenhaltungen:
WO 2007128023 A1

(73) Patentinhaber:
HERMELING WERNER DIPL.ING.
7100 NEUSIEDL AM SEE (AT)

(74) Vertreter:
Haffner und Keschmann Patentanwälte GmbH
Wien

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Regasifizieren von tiefkalt verflüssigtem Gas**

(57) Bei einem Verfahren zum Regasifizieren von tiefkalt verflüssigtem Gas, bei dem ein Teil des in einem Tank (1) befindlichen tiefkalt verflüssigten Gases vom Tank (1) in einen Dosierspeicher (2) verbracht wird, der Dosierspeicher (2) vom Tank (1) getrennt wird und eine dosierte Menge des tiefkalt verflüssigten Gases anschließend einem Verdampfer (20) zugeführt wird, worauf die verdampfte Gasmenge in einen Hochdruckgasspeicher (24) abgefüllt oder in ein Leitungsnetz eingespeist wird, worauf der Verdampfer (20) vom Dosierspeicher (2) getrennt wird, der Druck im Dosierspeicher (2) abgebaut und der Dosierspeicher (2) neuerlich mit verflüssigtem Gas aus dem Tank (1) gefüllt wird, wird der Druck im Dosierspeicher (2) dadurch abgebaut, dass das im Dosierspeicher (2) befindliche Gas durch einen Wärmeübertrager (14) geführt wird, in dem das Gas gekühlt und/oder teilweise kondensiert wird, wobei das im Wärmeübertrager ggf. gebildete Kondensat und das gekühlte Gas mit dem verbleibenden Gasdruck in den Tank (1) geleitet und das gekühlte Gas in dem das verflüssigte Gas enthaltenden Teil des Tanks (1) kondensiert wird.



AT 512979 B1 2015-11-15

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regasifizieren von tiefkalt verflüssigtem Gas, bei dem ein Teil des in einem isolierten Tank befindlichen tiefkalt verflüssigten Gases vom Tank in einen isolierten Dosierspeicher verbracht wird, der Dosierspeicher vom Tank getrennt wird und eine dosierte Menge des tiefkalt verflüssigten Gases anschließend durch Freischaltung eines Verdampferkreises einem Verdampfer zugeführt wird, worauf zeitgleich oder nachfolgend die verdampfte Gasmenge in einen Hochdruckgasspeicher abgefüllt oder in ein Leitungsnetz eingespeist wird, worauf der Verdampfer vom Dosierspeicher getrennt wird, der Druck im Dosierspeicher abgebaut und der Dosierspeicher neuerlich mit verflüssigtem Gas aus dem Tank gefüllt wird.

[0002] Die Erfindung betrifft weiters eine Vorrichtung zum Regasifizieren von tiefkalt verflüssigtem Gas umfassend einen isolierten Tank, einen über wenigstens eine Verbindungsleitung mit dem Tank verbundenen isolierten Dosierspeicher, einen über wenigstens eine Verbindungsleitung und eine Rückleitung mit dem Dosierspeicher verbundenen Verdampfer und einen an den Verdampfer angeschlossenen Hochdruckspeicher oder eine an den Verdampfer angeschlossene Leitung eines Leitungsnetzes, wobei die wenigstens eine Verbindungsleitung zwischen dem Tank und dem Dosierspeicher, die wenigstens eine Verbindungsleitung und die Rückleitung zwischen dem Dosierspeicher und dem Verdampfer jeweils ein Absperrventil aufweist.

[0003] Ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art, mit denen eine kolbenlose Verdichtung von Gasen möglich ist, sind aus der WO 2011/009149 A1 bekannt. Bei dem in der WO 2011/009149 A1 beschriebenen Verfahren sind zwei oder mehrere Stränge parallel geschaltet, wobei mit dem Druck des einen Stranges der Dosierspeicher für die Befüllung des anderen Stranges, speziell des Verdampfers, leer gedrückt wird. Die Flüssigkeit gelangt in den dem Dosierspeicher nachgeschalteten Luftverdampfer, d.h. die Flüssigkeit muss gegen den im Verdampfer befindlichen Druck in diesen gedrückt werden. Der Druck im Dosierspeicher muss vor dem neuerlichen Befüllen des Dosierspeichers mit verflüssigtem Gas dadurch abgebaut werden, dass dieser über eine Drossel in den Gasraum des Tanks entspannt wird. Dabei fällt eine Gasphase und eine Flüssigphase an und es stellt sich ein Druckausgleich zwischen dem Dosierspeicher und dem Tank ein. Sobald der Gasdruck im Tank dabei einen unzulässig hohen Wert erreicht, muss das Gas aus dem Gasraum des Tanks von Zeit zu Zeit abgeblasen werden. Weiters wird bei dieser Verfahrensweise billigend in Kauf genommen, dass zum Befüllen des einen Stranges durch den anderen sehr hohe Druckspitzen auftreten.

[0004] In der WO 2007/128023 A1 wird ein Verfahren der eingangs genannten Art beschrieben.

[0005] Die vorliegende Erfindung zielt darauf ab, die Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden.

[0006] Zur Lösung dieser Aufgabe wird das Verfahren der eingangs genannten Art im Wesentlichen so durchgeführt, dass der Druck im Dosierspeicher dadurch abgebaut wird, dass das im Dosierspeicher befindliche Gas durch einen Wärmeübertrager geführt wird, in dem das Gas gekühlt und/oder teilweise kondensiert wird, wobei das im Wärmeübertrager ggf. gebildete Kondensat und das gekühlte Gas mit dem verbleibenden Gasdruck in den Tank gedrückt und das gekühlte Gas mit dem verbleibenden Gasdruck in den Tank geleitet und das gekühlte Gas in dem das verflüssigte Gas enthaltenden Teil des Tanks kondensiert wird, wobei dem Wärmeübertrager flüssiges Gas aus dem Dosierspeicher als Kühlmedium zugeführt wird und dass im Wärmeübertrager erwärmtes oder verdampftes Kühlmedium dem Verdampfer zugeführt wird. Das sich im Dosierspeicher befindliche Gas wird somit im Wärmeübertrager gekühlt und nach Möglichkeit zumindest teilweise kondensiert, womit ein Teil der Energie des unter Druck stehenden Gases zunächst außerhalb des Tanks abgegeben wird, worauf der verbleibende Teil der Energie an die im Tank befindliche Flüssigkeit abgegeben und auf Tankdruck entspannt werden kann. Zu diesem Zweck wird der im Wärmeübertrager befindliche Gasdruck in der Flüssigphase des Tanks kondensiert. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, das Gas im Gasraum des Tanks von Zeit zu Zeit abzublasen und dadurch Gas zu verlieren. Der Wärmeübertrager ist

außerhalb des Tanks, der Kondensator innerhalb des Tanks angeordnet.

[0007] Das aus dem Kondensator austretende Produkt vermischt sich im Austrittsbereich des Kondensators mit dem im Tank befindlichen verflüssigten Gas. Im Kondensator kommt es dabei zwangsläufig zur Kondensation des aus dem Wärmeübertrager zugeführten Gases, wobei das Kühlmedium die Flüssigkeit des Tanks ist.

[0008] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass dem Wärmeübertrager flüssiges Gas aus dem Dosierspeicher als Kühlmedium zugeführt wird und das im Wärmeübertrager erwärmte oder verdampfte Kühlmedium dem Verdampfer zwecks weiterer Energieaufnahme zugeführt wird.

[0009] Bevorzugt ist weiters vorgesehen, dass der Wärmeübertrager wenigstens eine gasführende Rohrleitung aufweist, in der die Abkühlung des Gases erfolgt, so dass eine Kondensation möglich wird. Der Kondensator umfasst bevorzugt wenigstens eine im Inneren des Tanks verlaufende Leitung, insbesondere eine Kühlschlange, welche von Gas und Kondensat aus dem Wärmeübertrager durchströmt wird.

[0010] Eine besonders wirtschaftliche Verfahrensführung wird ermöglicht, wenn das verflüssigte Gas bevorzugt unter dem geodätischen Druck in den Dosierspeicher gefüllt wird. Alternativ kann die erforderliche Druckdifferenz auch durch eine Umwälzpumpe aufgebracht oder unterstützt werden. Dabei umfasst das Befüllen des Dosierspeichers mit Vorteil die Herstellung eines Druckausgleichs zwischen dem Tank und dem Dosierspeicher.

[0011] Weiters ist es vorteilhaft, vor der Befüllung des Verdampfers den Wärmeübertrager zu befüllen und die überschüssige Flüssigkeit, welche nicht mehr vom Wärmeübertrager aufgenommen werden kann, in den Verdampfer zu entleeren. Ziel ist es, den Wärmeübertrager mit zu verdampfendem Kühlmedium zu füllen, damit dieses im nachfolgenden Prozess des Druckausgleichs das im Dosierspeicher befindliche Gas vor der Entspannung kühlen kann. Wird nun der Dosierspeicher mit dem Verdampfer verbunden, wird der Produktstrom durch den geodätischen Druck in den Wärmeübertrager geleitet, dieser wird „geflutet“, das überlaufende Produkt gelangt in den Verdampfer und wird dort vollständig in die Gasphase überführt. Das durch den Wärmeaustausch im Wärmeübertrager verdampfte Produkt wird durch aus dem Dosierspeicher nachströmendes Produkt ersetzt und das überschüssige Produkt fließt dem Verdampfer zur Verdampfung zu.

[0012] Danach wird zwecks Druckausgleich zwischen Dosierspeicher und Tank der Dosierspeicher vom Verdampfer getrennt und dessen Druck in den Tank entspannt. Zur Entspannung wird das Gas des Dosierspeichers durch den Wärmeübertrager und den Kondensator in den Tank geführt. Es erfolgt ein Druckausgleich und der Dosierspeicher kann erneut befüllt werden.

[0013] Zur Einhaltung der kryogenen Bedingungen im Tank wird bevorzugt so vorgegangen, dass der Druck im Tank unter dem zulässigen Betriebsdruck des Tanks gehalten wird, insbesondere z.B. weniger als 15 bar beträgt, so dass sichergestellt ist, dass der Tank nicht abblasen kann.

[0014] Die Abkühlung und Kondensation des aus dem Wärmeübertrager zugeführten Produktes in den Tank hat in der Regel eine leichte Erwärmung der im Tank befindlichen Flüssigphase zur Folge, so dass es zu einer Druckerhöhung im Tank kommen kann. Um als Folge dieser Druckerhöhung ein Abblasen von Gas aus dem Gasraum des Tanks zu vermeiden, wird bevorzugt so vorgegangen, dass das Befüllen des Dosierspeichers über eine von wenigstens zwei in unterschiedlicher Höhe innerhalb des Tanks mündenden Verbindungsleitungen erfolgt, wobei die Entnahme des tiefkalt verflüssigten Gases aus dem Tank über die am höchsten mündende Verbindungsleitung erfolgt, die der fallende Füllstand des Tanks jeweils erlaubt. Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, jeweils die „wärmere“ Flüssigkeit aus dem Tank zu entnehmen und dem Dosierspeicher zuzuführen. Die durch die Kondensation in die Flüssigphase des Tanks eingebrachte Wärme wird mit der entnommenen Menge der Flüssigphase somit sofort wieder abgeführt.

[0015] Um in vorteilhafter Weise die Nutzung von aus der Umgebung kommender Energie für

die Regasifizierung des tiefkalt verflüssigten Gases zu ermöglichen, sieht eine bevorzugte Verfahrensweise vor, dass die Verdampfung mit der Enthalpie der Luft erfolgt.

[0016] Zur Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung bei einer Vorrichtung der eingangs genannten Art vorgesehen, dass ein Abschnitt der den Dosierspeicher mit dem Verdampfer verbindenden Verbindungsleitung eine Kühlflüssigkeitsleitung eines isolierten Wärmeübertragers ausbildet, der von aus dem Dosierspeicher kommendem flüssigen Gas zu dessen Kühlung und/oder teilweisen Kondensation durchströmbar ist, der mit einem im Tank angeordneten Kondensator verbunden ist und der ausgebildet ist, um im Wärmeübertrager erwärmtes oder verdampftes Kühlmedium dem Verdampfer über die Verbindungsleitung zuzuführen.

[0017] Bevorzugt umfasst der Kondensator wenigstens eine im Inneren des Tanks verlaufende Leitung, insbesondere eine Kühlschlange, welche von Gas aus dem Dosierspeicher durchströmbar ist. Die wenigstens eine Leitung und deren Austrittsmündung sind bevorzugt von einem im Tank angeordneten Rohr umgeben. Das Rohr dient hierbei dazu, die vom Kondensator erwärmte Flüssigphase von der übrigen Flüssigphase des Tanks abzutrennen. Dies ermöglicht es, den Bereich der Wärmeeinbringung zu begrenzen, wobei die räumliche Trennung es in weiterer Folge erlaubt, den erwärmten Teil der Flüssigphase gezielt aus dem Tank auszubringen. Eine bevorzugte Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht in diesem Zusammenhang vor, dass in den Tank wenigstens zwei den Tank mit dem Dosierspeicher verbindende Verbindungsleitungen in unterschiedlicher Höhe münden. Insbesondere münden die Verbindungsleitungen innerhalb des Rohres im Tank.

[0018] Um ein Befüllen des Dosierspeichers unter dem geodätischen Druck des Tanks zu ermöglichen, ist bevorzugt vorgesehen, dass der Flüssigkeitszulauf in den Dosierspeicher tiefer angeordnet ist als der Flüssigkeitsablauf aus dem Tank. Ebenso ist es möglich, den Wärmeübertrager und den Verdampferzulauf tiefer anzuordnen als den Dosierspeicher. Der Zulauf kann aber auch durch eine unterstützende Umwälzpumpe erfolgen.

[0019] Bevorzugt ist der Dosierspeicher über eine Gasrückgangsleitung mit dem Gasraum des Tanks verbindbar, wodurch ein Druckausgleich zwischen dem Dosierspeicher und dem Tank auf direktem Weg ermöglicht wird.

[0020] Um die Wärmeeinbringung in den kryogenen Teil des Systems, der den Tank, den Dosierspeicher, den Wärmeübertrager und die den Tank und den Dosierspeicher verbindenden Leitungen umfasst, zu minimieren, sieht eine bevorzugte Weiterbildung vor, dass der Tank, der Dosierspeicher, der Wärmeübertrager und die den Tank mit dem Dosierspeicher verbindenden Leitungen wärmeisoliert sind. Der Verdampfer hingegen ist vorzugsweise nicht wärmeisoliert, damit die Umgebungsenthalpie zur Verdampfung des Gases verwendet werden kann.

[0021] Die nicht wärmeisolierte Ausführung des Verdampfers hat den Nachteil, dass der Verdampfer vereist, was den Verdampfer isoliert, d.h. dass die Wärmezufuhr zum Verdampfer von außen verringert wird. Diesbezüglich kann dadurch Abhilfe geschaffen werden, dass der Verdampfer vergrößert wird. Dies ist aber nur eine zeitverzögernde Maßnahme. Kontinuierlich wird der nächste Abschnitt des Verdampfers vereisen, so dass die einzige Möglichkeit darin besteht, diese Vereisung durch Umschalten auf einen weiteren Verdampfer zu verhindern, was wiederum den anlagentechnischen Aufwand wesentlich erhöht. Im Rahmen der Erfindung wird ein Vereisen bevorzugt dadurch hintangehalten, dass der Verdampfer an seiner Außenseite eine Beschichtung aufweist, die diese Vereisung vermeidet, z.B. eine auf Nanotechnologie bauende Molekularstruktur.

[0022] Die Oberfläche des Verdampfers kann aber auch durch mechanische oder chemische Behandlungsschritte von Eis oder anderen Erstarrungsprodukten freigehalten werden, wobei es sich bei der mechanischen Variante beispielsweise um ein Abkratzen und bei der chemischen Variante um die Verwendung eines Auftaumittels handelt, so dass der Verdampfer im kontinuierlichen Betrieb arbeiten kann.

[0023] Wenn im Rahmen der Erfindung auf tiefkalt verflüssigte Gase Bezug genommen wird,

sind darunter z.B. durch Kühlung und Kompression verflüssigte Gase (analog oder ähnlich dem Linde - Verfahren) zu verstehen, die bei Normaldruck aufgrund der Verdampfungsenthalpie bei entsprechender Wärmeisolation kalt und flüssig bleiben (z.B. Flüssigsauerstoff und Flüssigstickstoff). Der Siedepunkt solcher Gase liegt bei Normaldruck in der Regel bei unter -160°C . Ein weiteres Beispiel ist das sogenannte Flüssigerdgas (LNG für engl. liquefied natural gas), das durch Abkühlung auf -164 bis -161°C (109 K bis 112 K) verflüssigt sich in Gasform befindlichen Erdgas bezeichnet und etwa ein 600stel des Volumens von Erdgas aufweist.

[0024] Tiefkalt verflüssigte Gase werden in wärmeisolierten Tanks, sogenannten Kryobehältern, gelagert. Der im Rahmen der Erfindung zum Einsatz gelangende Tank wie auch der Dosierspeicher und der Wärmeübertrager sind beispielsweise als doppelwandige Behälter ausgeführt, deren Zwischenraum zwischen der Außenwand und der Innenwand evakuiert ist. Die Innenseite der Innenwand ist bevorzugt mit einer reflektierenden Beschichtung versehen. Möglich ist es ebenfalls, den Dosierspeicher, die Ventile und die Rohrleitungen in einem isolierten Behälter zu platzieren, so dass eine Verdampfung ausgeschlossen, bzw. stark eingeschränkt ist.

[0025] Unter einem Dosierspeicher ist im Rahmen der Erfindung bevorzugt ein wärmeisolierter Speicherbehälter zu verstehen, dessen Volumen deutlich geringer ist als das des Tanks. Insbesondere entspricht das Volumen des Dosierspeichers weniger als der Hälfte, bevorzugt weniger als einem Viertel des Volumens des Tanks.

[0026] Der Wärmeübertrager nimmt den Teil der Flüssigkeit auf, der je nach Prozessgestaltung zur Abkühlung oder Kondensation des Produktes erforderlich ist.

[0027] Bei dem erfindungsgemäßen System werden zwei Kreisläufe hintereinander geschaltet, so dass eine Linie aufgebaut wird. Im 1. Kreislauf dieser Linie, dem Dosierkreislauf, wird das Produkt bei relativ geringem Druck, beispielsweise 15 bar , in einem Tank gespeichert. Die zu verdampfende Gasmenge wird in den Dosierspeicher portioniert. Der Dosierspeicher wird vorzugsweise durch den geodätischen Druck gefüllt. Dazu kann ein Druckausgleich zwischen Tank und Dosierspeicher hergestellt werden. Das erfolgt beispielsweise über eine Gasrückgangsleitung. Voraussetzung ist jedoch, dass die Drücke im Tank und im Dosierspeicher so sind, dass der Zulauf aus dem Tank in den Dosierspeicher möglich ist - die Drücke müssen in der jeweiligen Gasphase gleich sein. Ist das nicht der Fall - zum Beispiel ist der Druck im Dosierspeicher nach dem Prozessstart immer höher als im Tank - muss dieser Druck abgebaut werden. Der Druck liegt hierbei überwiegend im überkritischen Bereich. Das aus dem Dosierspeicher in den Tank zurückgeführte Gas wird über den Wärmeübertrager geführt und dort gekühlt. Der Wärmeübertrager ist mit seinem Kühlmittel führenden Kreislauf in den Verdampferkreislauf eingebunden.

[0028] Der Dosierkreislauf ist komplett isoliert. Die Verdampfung des Gases ist nur entsprechend der ungewollt eingetragenen Wärme möglich. Die Isolierung soll die Verdampfung des Gases vermeiden.

[0029] Im zweiten Kreislauf, dem Verdampferkreislauf, wird das Produkt aus dem Dosierspeicher in den Verdampfer gebracht. Dabei passiert das Produkt erst den Wärmeübertrager und flutet diesen, so dass ein Produktaustausch oder Produktvermischung zwischen vorhandenem, also „warmen“ Produkt und frischem, also „kalten“ Produkt erfolgt. Der Verdampfer ist nicht isoliert und soll dem Gas die Verdampfungs- und Kompressionsenergie zuführen. Die Energie soll der Umgebung oder einer anderen kostenlosen Wärmequelle entzogen werden. Die zugeführte Energie bewirkt die Zustandsänderung. Der Verdampfer ist im einfachsten Fall ein nicht isolierter, z.B. zylindrischer Behälter.

[0030] Um das Produkt aus dem Dosierspeicher in den Verdampfer zu bringen, muss der Dosierspeicher vom Tank getrennt und mit dem Verdampfer verbunden werden. Der Verdampferzulauf liegt bevorzugt räumlich unter dem Dosierspeicher. Dadurch kann das Produkt auch hier durch den geodätischen Druck in den Verdampfer fließen. Das Einströmen wird durch Öffnen bzw. Schließen von Ventilen ermöglicht. Das bedeutet, dass sich überall der hohe Druck des Verdampfers einstellt.

[0031] Die Vereisung des Verdampfers hat eine eingeschränkte Betriebsdauer zur Folge. Bevorzugt wird deshalb die Eisschicht mechanisch in Zyklen beseitigt oder das Ansetzen der Eiskristalle durch eine geeignete Beschichtung der Verdampferoberfläche vermieden.

[0032] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. In dieser ist ein Blockschaltbild einer Regasifizierungsanlage dargestellt.

[0033] Der Tank 1, in dem tiefkalt verflüssigtes Gas gelagert ist, ist als isolierter, vorzugsweise vakuumisolierter Behälter ausgeführt. Der minimale Füllstand im Tank 1 ist über dem maximalen Füllstand des Dosierspeichers 2 positioniert, damit das Produkt unter dem geodätischen Druck in den Dosierspeicher 2 fließen kann. Der Dosierspeicher 2, der ebenfalls als isolierter, vorzugsweise vakuumisolierter Behälter ausgeführt ist, ist über eine gasraumseitig angeschlossene Gasrückgangsleitung 3 mit dem Gasraum des Tanks 1 verbunden. In der Gasrückgangsleitung 3 ist das Sperrventil 4 angeordnet. Der Dosierspeicher ist weiters über eine gasraumseitig angeschlossene, mit einem Sperrventil 29 ausgestattete Verbindungsleitung 28 mit einem Wärmeübertrager 14 verbunden.

[0034] Über die Gasrückgangsleitung 3, die in den Gasraum des Tanks 1 mündet, erfolgt der Druckausgleich zwischen dem Tank 1 und dem Dosierspeicher 2. Zulaufseitig ist der Dosierspeicher 2 über bodenseitig am Dosierspeicher 2 angeschlossene, verschieden lange Verbindungsleitungen 5, 6 und 7 mit dem Tank 1 verbunden, die abgestuft in einem Kondensator 12 enden. Ist der Tank 1 gefüllt, wird die längste Verbindungsleitung 5 über das Sperrventil 8 geöffnet. Ist der Füllstand gefallen, so dass über die Verbindungsleitung 5 kein Zulauf erfolgen kann, wird der Dosierspeicher 2 über die nächst längere Verbindungsleitung 6 bzw. 7 durch Öffnen der Sperrventile 9 bzw. 10 gefüllt. Dieser Prozess wird so lange fortgesetzt, bis der Tank 1 entleert ist. Mit dieser kaskadischen Entnahme wird immer zuerst das wärmste Produkt abgezogen, so dass der Druckanstieg im Tank 1 verlangsamt wird. Zum wahlweisen Sperren und Öffnen der Verbindungsleitungen 5, 6 und 7 sind die Sperrventile 8, 9 und 10 vorgesehen.

[0035] Der Dosierspeicher 2 ist weiters über eine Leitung 30 und ein Sperrventil 11 mit dem Gasraum des Tanks 1 verbindbar.

[0036] Der Wärmeübertrager 14 weist ein Kühlmittelvolumen 32 und ein von dem zu kühlenden Gas durchströmbares Volumen 31 auf. Eingangseitig ist das Volumen 31 über die Leitung 28 und das Sperrventil 29 mit der Gasraumseite des Dosierspeichers 2 verbunden. Ausgangseitig ist das Volumen 31 über die Leitung 15 mit einer Kühlschlange 13 eines Kondensators 12 verbunden. Das Kühlmittelvolumen 32 des Wärmeübertragers 14 ist einerseits über das Sperrventil 21 mit dem Dosierspeicher 2 und andererseits mit dem Verdampfer 20 verbunden.

[0037] Im Tank 1 ist der Kondensator 12 positioniert, in dessen Innerem sich die Kühlschlange 13 befindet, die über eine Leitung 15 unter Zwischenschaltung des Wärmeübertragers 14 kopfseitig, d.h. an den Gasraum des Dosierspeichers 2 angeschlossen ist. Die Kühlschlange 13 wird im Tank 1 vorzugsweise von oben nach unten geführt, sodass sie am unteren Ende 16 geöffnet ist, so dass dort das verbleibende Gas über eine Mischdüse oder Drosselstelle (nicht dargestellt) austritt. Bei Ausführung mit Mischdüse endet der Saugstutzen in der „kalten“ Flüssigkeit. Im Kondensator 12 erfolgt die Kondensation des aus dem Dosierspeicher 2 abgezogenen Gases. Als Kühlmittel wird hierbei die Flüssigphase des Tanks 1 verwendet, so dass die für die Wärmeübertragung notwendige Temperaturdifferenz sichergestellt ist. Das Gas durchströmt die Kühlschlange 13 und es kommt in ihr zur weiteren Kondensation, bei der die Kondensationswärme an die umgebende Flüssigkeit abgegeben wird. Die Kühlschlange 13 wird von einem Rohr 17 umgeben und bildet so den Kondensator 12. In der Kühlschlange sammelt sich das Kondensat, welches nach unten abfließt. Die verbleibende Gasphase tritt über einen Düsenstock aus und reißt dabei das Kondensat mit. Der Gasanteil wird durch die Mischkondensation reduziert. Die dabei entstehende „warme“ Flüssigkeit verbleibt im Innern des Rohres 17. Das Rohr 17 reicht oben bis in den Gasraum des Tanks 1, sodass es zu keinem Eintritt der außerhalb des Rohres 17 befindlichen Flüssigkeit kommt. Die bodenseitige Öffnung des Rohres 17 ist von einem weiteren siebartigen Rohr 18 umgeben, das verhindert, dass kalte Flüssigkeit von

außerhalb des Rohres 17 direkt in das Rohr 17 nachströmt.

[0038] Die Grenze zwischen dem oben beschriebenen Dosierkreislauf und dem nachfolgend beschriebenen Verdampferkreislauf ist mit der gestrichelten Linie 19 gekennzeichnet.

[0039] Der Verdampfer 20 ist bodenseitig über eine Zulaufleitung 33 und ein Sperrventil 21 und am Austritt über eine Leitung 22 und ein Sperrventil 23 mit dem Dosierspeicher 2 verbindbar. Die Zulaufleitung 33 des Verdampfers 20 kann mit leichter Steigung verlegt sein, wobei der Verdampfer 20 in Teilen unter dem Dosierspeicher 2 platziert ist. Dies begünstigt, dass das Produkt dem Verdampfer 20 zufließen kann.

[0040] Dem Verdampfer 20 ist der Hochdruckgasspeicher 24 nachgeschaltet, der ein endlicher Druckspeicher, z.B. ein Druckbehälterspeicher oder ein unendlicher Druckspeicher, z.B. eine Rohrleitung sein kann. Ziel ist es, beide mit unter Hochdruck stehendem Gas zu befüllen. Die Verbindungsleitung zwischen dem Verdampfer 20 und dem Hochdruckspeicher 24 ist mit 25 und das in dieser Leitung 25 angeordnete Sperrventil mit 26 bezeichnet.

[0041] Im folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand des folgenden Beispiels erläutert.

[0042] Allgemein herrscht im Tank 1 der geringste Druck, z.B. 10 bar. Im Dosierspeicher 2 wechselt der Druck zwischen dem Tankdruck und dem Verdampferdruck. Im Verdampfer 20 herrscht immer der maximal mögliche Druck (z.B. über 200 bar). Dieser liegt zeitweise über dem Hochdruckspeicherdruck, was die Voraussetzung dafür ist, dass damit eine Speicherbefüllung erfolgen kann.

[0043] Zu Prozessbeginn wird der Tank 1 mit dem Dosierspeicher 2 über den Flüssigkeitsvorlauf und den Gasrückgang 30 verbunden. Dazu werden eines der Ventile 8, 9 oder 10, das Ventil 11 und das Ventil 27 geöffnet. Es stellt sich ein Druckausgleich ein und die Flüssigkeit fließt bis zum gewünschten Füllstand in den Dosierspeicher 2. Nachdem der Dosierspeicher 2 gefüllt ist, werden das Ventil 8, 9 bzw. 10 und das Ventil 27 geschlossen und die Ventile 21 und 23 geöffnet. Das Produkt fließt zuerst in das Volumen 32 des Wärmeübertragers 14 und danach, sobald das Volumen 32 geflutet wurde, in den Verdampfer 20, wo dem Produkt vorzugsweise aus der Umgebungstemperatur die Verdampfungs- und Kompressionsenergie zugeführt wird. Bei Erreichen eines Druckes, der über dem des Hochdruckgasspeichers 24 liegt, wird das Ventil 26 geöffnet, so dass es zum Druckausgleich zwischen Dosierspeicher 2, Verdampfer 20 und Hochdruckgasspeicher 24 kommt.

[0044] Vorteilhaft ist es hierbei, wenn der Druckanstieg im Verdampfer 20 detektiert wird und aus diesem der maximal zu erwartende Druck errechnet wird. Vor Erreichen des maximalen Druckes wird der Hochdruckspeicher 24 vom Verdampfer 20 durch Schließen des Ventils 26 getrennt. Der Druck steigt weiter an, sodass im Dosierspeicher 2 und im Verdampfer 20 der höchste Druck herrscht. Nun wird der Verdampfer 20 vom Dosierspeicher 2 durch Schließen des Ventils 23 getrennt und der Druck in den nachgeschalteten Hochdruckspeicher durch Öffnen von Ventil 26 entspannt. Im Dosierspeicher 2 herrscht nun der höchste Druck. Dieses Druckpolster wird genutzt, um den Verdampfer 20 zügig mit Produkt zu beladen. Es erfolgt dadurch auch eine gleichmäßigere Ausnutzung der Verdampferoberfläche.

[0045] Nach der Befüllung des Hochdruckspeichers 24 herrscht im Dosierspeicher 2 der Druck des Verdampfers 20, der wesentlich über dem Tankdruck liegt. Eine erneute Befüllung ist nur möglich, wenn ein Druckausgleich zwischen dem Tank 1 und dem Dosierspeicher 2 hergestellt ist. Hierfür muss der Druck im Dosierspeicher 2 reduziert werden. Dazu werden zuerst die Ventile 21 und 23 verschlossen. Danach wird das im Dosierspeicher 2 befindliche Gas, welches sich in der Regel im überkritischen Zustand befindet, gekühlt, sodass es den Flüssigphasenbereich erreicht und zu kondensieren beginnt. Dies erfolgt zuerst im Wärmeübertrager 14, in dessen Volumen 32 sich noch flüssiges Medium aus dem vorangegangenen Schritt befindet, und danach im Kondensator 12. Dazu wird das Ventil 29 geöffnet, das überkritische Produkt kühlt zunächst im Wärmeübertrager 14 ab und kondensiert ggf. teilweise und kondensiert danach an den Wandungen des Kondensators 12, der mit dem „kalten“ Produkt (max. 18bar)

umgeben ist. Der Prozess ist bis zur Siedelinie möglich. Bei Erreichen einer gewünschten Temperatur wird das Ventil 29 geschlossen und der Rest des Gases durch Öffnen des Ventils 4 in den Gasraum des Tanks 1 entspannt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Regasifizieren von tiefkalt verflüssigtem Gas, bei dem ein Teil des in einem Tank befindlichen tiefkalt verflüssigten Gases vom Tank in einen Dosierspeicher verbracht wird, der Dosierspeicher vom Tank getrennt wird und eine dosierte Menge des tiefkalt verflüssigten Gases anschließend einem Verdampfer zugeführt wird, worauf die verdampfte Gasmenge in einen Hochdruckgasspeicher abgefüllt oder in ein Leitungsnetz eingespeist wird, worauf der Verdampfer vom Dosierspeicher getrennt wird, der Druck im Dosierspeicher abgebaut und der Dosierspeicher neuerlich mit verflüssigtem Gas aus dem Tank gefüllt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druck im Dosierspeicher (2) dadurch abgebaut wird, dass das im Dosierspeicher (2) befindliche Gas durch einen Wärmeübertrager (14) geführt wird, in dem das Gas gekühlt und/oder teilweise kondensiert wird, wobei das im Wärmeübertrager (14) ggf. gebildete Kondensat und das gekühlte Gas mit dem verbleibenden Gasdruck in den Tank (1) geleitet und das gekühlte Gas in dem das verflüssigte Gas enthaltenden Teil des Tanks (1) kondensiert wird, wobei dem Wärmeübertrager (14) flüssiges Gas aus dem Dosierspeicher (2) als Kühlmedium zugeführt wird und dass im Wärmeübertrager (14) erwärmtes oder verdampftes Kühlmedium dem Verdampfer (20) zugeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das im Wärmeübertrager (14) gekühlte Gas gemeinsam mit dem ggf. im Wärmeübertrager (14) gebildeten Kondensat durch einen im Inneren des Tanks (1) angeordneten Kondensator (12) geleitet und zumindest teilweise kondensiert wird und das Kondensat sich in einem Austrittsbereich des Kondensators (12) mit dem im Tank (1) befindlichen verflüssigten Gas vermischt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kondensator (12) wenigstens eine im Inneren des Tanks (1) verlaufende Leitung (15), insbesondere eine Kühlschlange (13) umfasst, welche von Gas aus dem Wärmeübertrager (14) durchströmt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das verflüssigte Gas unter dem geodätischen Druck in den Dosierspeicher (2) und ggf. den Wärmeübertrager (14) gefüllt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Befüllen des Dosierspeichers (2) die Herstellung eines Druckausgleichs zwischen dem Tank (1) und dem Dosierspeicher (2) umfasst.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druck im Tank (1) unter dem zulässigen Betriebsdruck des Tanks (1) gehalten wird, insbesondere z.B. weniger als 15 bar beträgt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Befüllen des Dosierspeichers (2) über eine von wenigstens zwei in unterschiedlicher Höhe innerhalb des Tanks (1) mündenden Verbindungsleitungen (5, 6, 7) erfolgt, wobei die Entnahme des tiefkalt verflüssigten Gases aus dem Tank (1) über die am höchsten mündende Verbindungsleitung erfolgt, die der fallende Füllstand des Tanks jeweils erlaubt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verdampfung mit der Enthalpie der Luft oder einer anderen wirtschaftlich nicht verwertbaren Wärmequelle erfolgt.
9. Vorrichtung, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, umfassend einen isolierten Tank (1), einen über wenigstens eine Verbindungsleitung (5,6,7) mit dem Tank (1) verbundenen isolierten Dosierspeicher (2), einen über wenigstens eine Verbindungsleitung (33) und eine Rückleitung (22) mit dem Dosierspeicher (2) verbundenen Verdampfer (20) und einen an den Verdampfer (20) angeschlossenen Hochdruckspeicher (24) oder eine an den Verdampfer (20) angeschlossene Leitung eines Leitungsnetzes, wobei die wenigstens eine Verbindungsleitung (5,6,7) zwischen dem Tank (1)

und dem Dosierspeicher (2), die wenigstens eine Verbindungsleitung (33) und die Rückleitung (22) zwischen dem Dosierspeicher (2) und dem Verdampfer (20) jeweils ein Absperrventil (8,9,10,21,23) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Abschnitt der den Dosierspeicher (2) mit dem Verdampfer (20) verbindenden Verbindungsleitung (33) ein Volumen (32) eines isolierten Wärmeübertragers (14) ausbildet, der von aus dem Dosierspeicher (2) kommendem flüssigen Gas zu dessen Kühlung und/oder teilweisen Kondensation durchströmbar ist, der mit einem im Tank (1) angeordneten Kondensator (12) verbunden ist und der ausgebildet ist, um im Wärmeübertrager (14) erwärmtes oder verdampftes Kühlmedium dem Verdampfer (20) über die Verbindungsleitung (33) zuzuführen.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kondensator (12) wenigstens eine im Inneren des Tanks (1) verlaufende Leitung, insbesondere eine Kühlschlange (12) umfasst, welche von dem gekühlten Gas aus dem Wärmeübertrager (14) durchströmbar ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Leitung und deren Austrittsmündung von einem im Tank angeordneten unten offenen, ersten Rohr (17) umgeben sind, wobei das erste Rohr (17) bevorzugt in einem zweiten Rohr (18) steht.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass in den Tank (1) wenigstens zwei den Tank (1) mit dem Dosierspeicher (2) verbindende Verbindungsleitungen (5, 6, 7) in unterschiedlicher Höhe münden.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verbindungsleitungen (5, 6, 7) innerhalb des ersten Rohres (17) im Tank (1) münden.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Flüssigkeitszulauf in den Dosierspeicher (2) tiefer angeordnet ist als der Flüssigkeitsablauf aus dem Tank (1).
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zulauf zum Wärmeübertrager (14) ein Zulaufen durch die geodätische Höhe aus dem Dosierspeicher (1) erlaubt.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verdampferzulauf tiefer angeordnet ist als der Dosierspeicher (2).
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Dosierspeicher (2) über eine Gasrückgangsleitung mit dem Gasraum des Tanks (1) verbindbar ist.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Tank (1), der Dosierspeicher (2) und die den Tank mit dem Dosierspeicher (2) verbindenden Leitungen (5, 6, 7) und die an diesen angeordneten Ventile wärmeisoliert sind.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verdampfer (20) an seiner Außenseite eine Nanobeschichtung aufweist.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

