

Verfahren zum Betrieb eines Flüssiggastanks und Flüssiggastank zur Aufnahme von LNG und Boil-off-Gas

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Flüssiggastanks und einen Flüssiggastank mit einem Tankvolumen zur Aufnahme von Liquid Natural Gas (LNG) und Boil-Off-Gas (BOG), sowie eine Floating Storage Unit (FSU), einen LNG-Carrier, eine Regas-Barge, ein LNG-betriebenes Fahrzeug und ein LNG-betriebenes Kraftwerk, jeweils mit einem solchen Flüssiggastank.

Flüssiggastanks zur Speicherung von LNG werden unter anderem als Transporttanks in LNG-Carriern oder als Zwischenspeicher-Tanks (zum Beispiel FSUs oder Regas-Bargen), beispielsweise nach einem Überseetransport vor Einspeisung in ein Verbrauchernetz, oder als Speichertanks (beispielsweise in LNG-betriebenen See- und Landfahrzeugen oder in stationären Gaskraftwerken) eingesetzt.

Unabhängig von der Art des Einsatzes des Flüssiggastanks ist das darin befindliche LNG trotz des Einsatzes umfangreicher Wärmeisolutions-Maßnahmen wegen der großen Temperaturdifferenz zur Luft der Umgebung des Tanks grundsätzlich einer zwar langsamen, aber stetigen Erwärmung ausgesetzt.

Je weiter diese Erwärmung des LNG fortschreitet, desto größer ist der Anteil des gespeicherten LNG, das aus der flüssigen in die gasförmige Phase übergeht und damit als sogenanntes BOG den Innendruck in einem Tankvolumen des Flüssiggastanks erhöht. Ebenso wie die Erwärmung findet auch dieser Druckanstieg langsam, aber stetig statt. Wenn nicht rechtzeitig Gegenmaßnahmen ergriffen werden, droht je nach Tankkonstruktion früher oder später ein Bruch der Tankhülle.

Deshalb ist in bekannten Flüssiggastanks normalerweise eine Möglichkeit vorgesehen, das BOG abzuleiten und anschließend entweder frei zu verbrennen oder einem Verbraucher zuzuführen.

Auch sind Lösungen bekannt, bei denen das BOG komprimiert, wieder verflüssigt und anschließend als LNG in das Tankvolumen des Flüssiggastanks zurückgeführt wird. Die dazu bekannten Lösungen bedürfen allerdings komplexer und bauraumintensiver Verarbeitungs-

kreisläufe für das LNG und/oder das BOG, um letzteres wieder in die flüssige Phase zu überführen.

So ist aus der US-amerikanischen Patentschrift US 3,733,838 ein System zum Wiederverflüssigen von BOG bekannt, bei welchem dem Tank flüssiges LNG entnommen, mittels eines Wärmetauschers und einer Heizung erwärmt und in die gasförmige Phase überführt wird. Dieses gasförmige LNG wird anschließend mit dem ebenfalls aus dem Tank abgeleiteten BOG gemischt, im bereits erwähnten Wärmetauscher abgekühlt und nach Passage eines Expansionsventils in flüssiger Phase wieder in den Tank eingebracht. Dieser Prozess benötigt einen Wärmetauscher, der die Flexibilität der Leitungsführung einschränkt, und eine aktive Heizung, die dem Ziel zuwiderläuft, die Wärmeenergie und damit den Druckaufbau im Tank zu minimieren.

Eine andere Lösung gemäß der europäischen Patentanmeldung EP 1 956 287 A2 kommt zwar ohne eine aktive Heizung aus, benötigt aber zwei getrennte Fluidkreisläufe, um die erforderliche Kondensationsleistung zu erbringen. Im ersten Kreislauf wird BOG aus dem oberen Teil des Tanks in den unteren Teil des Tanks verpresst; im zweiten Kreislauf wird LNG aus dem unteren Teil des Tanks im oberen Teil des Tanks versprüht. Die nötige Kondensation wird also durch zwei letzten Endes getrennt voneinander vorgesehene Maßnahmen erreicht, die beide aufwändig am Tank und in den Tank eingebaut werden müssen.

Eine Aufgabe der Erfindung ist es nun, eine ausreichende Kapazität für die Verflüssigung von BOG auf einfachere Weise bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird gelöst mittels eines Verfahrens mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 und mittels eines Flüssiggastanks mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 7. Eine FSU, ein LNG-Carrier, eine Regas-Barge, ein LNG-betriebenes Fahrzeug und ein LNG-betriebenes Kraftwerk sind in Anspruch 15 unter Schutz gestellt.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum Betrieb eines Flüssiggastanks mit einem Tankvolumen zur Aufnahme von LNG und Boil-off-Gas (BOG) vorgeschlagen, wobei dem Tankvolumen ein gasförmiger BOG-Strom und ein flüssiger LNG-Strom zugeführt werden. Bei dem Verfahren wird der BOG-Strom in den LNG-Strom eingeleitet und anschließend das dabei entstehende BOG-LNG-Gemisch in das Tankvolumen eingeführt.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Flüssiggastank mit einem Tankvolumen zur Aufnahme von LNG und Boil-off-Gas (BOG) vorgeschlagen, der eine BOG-Führung

zum Führen von gasförmigem BOG und eine LNG-Führung zum Führen von flüssigem LNG aufweist. Dabei münden die BOG-Führung und die LNG-Führung in eine gemeinsame BOG-LNG-Führung, die zum Führen von BOG-LNG-Gemisch ausgebildet ist und die in das Tankvolumen mündet.

Insbesondere um die Erfindung möglichst breit anwenden zu können und/oder um durch die Anwendung der Erfindung an mehreren Stellen in einer Flüssiggas-Versorgungskette deren Vorteile noch zu verstärken, wird gemäß weiteren Aspekten der Erfindung eine FSU, ein LNG-Carrier, eine Regas-Barge, ein LNG-betriebenes See- oder Landfahrzeug bzw. ein LNG-betriebenes Kraftwerk, jeweils mit wenigstens einem Flüssiggastank im Sinne der Erfindung vorgeschlagen.

Durch eine erfindungsgemäße Gestaltung kann mit einem reduzierten Bauraumaufwand und einem minimierten Bedarf an Leitungs- und Thermomanagement-Komponenten ein baulich sehr einfach umsetzbarer BOG-Verflüssigungsprozess erreicht werden, der zudem eine verbesserte Verflüssigungsleistung ermöglichen kann. Zudem kann ein Flüssiggastank bereitgestellt werden, der eine geringere Anzahl an Durchbrüchen in der Tankhülle erfordert.

Die Erfindung basiert auf der Idee, die Vereinigung des flüssigen LNG und des gasförmigen BOG möglichst weit stromaufwärts im Verflüssigungskreislauf vorzusehen und gleichzeitig sicherzustellen, dass das BOG in vorbeifließendes – und nicht ruhendes – LNG eingeleitet wird. Dadurch kann einerseits eine Wärmeeinbringung entlang überflüssiger Rohrleitungen wegfallen und andererseits die Aufnahme und Kondensation des gasförmigen BOG in dem flüssigen LNG vereinfacht werden.

Das Einpressen des BOG in den LNG-Strom funktioniert umso besser, je stärker der Druck des BOG-Stroms über einem Sättigungsdruck des LNG-Stroms liegt. Ob der Druck im BOG-Strom dabei stromaufwärts durch einen Kompressor erhöht wird, oder das BOG aus einem anderen Tank (synonym Speicher) direkt zugeleitet wird, in welchem es bereits unter einem – relativ betrachtet – hohen Druck vorliegt, ist unerheblich.

Die Kondensation des zunächst gasförmigen BOG nach Einleitung in den LNG-Strom funktioniert umso besser, je stärker die Unterkühlung des LNG-Stroms – bezogen auf die Druckverhältnisse im Tankvolumen des Flüssiggastanks – ausgeprägt ist. Solange der LNG-Strom in diesem Sinne unterkühlt ist, kann der eingeleitete BOG-Strom kondensiert (synonym: ein-kondensiert, eingelöst, eingepresst, verpresst) werden.

Der Betrieb eines Flüssiggastanks kann im Sinne der Erfindung sowohl ein Befüllen und ein Entleeren von dessen Tankvolumen mit LNG und/oder BOG beinhalten, als auch einen Lagerbetrieb, wobei mit der Zeit dem ansteigenden Tankdruck, der durch einen größer werdenden BOG-Anteil verursacht wird, entgegengewirkt werden muss. Unter den Begriff „Betrieb“ fallen also vorliegend sowohl eine Veränderung der Füllmenge an LNG und/oder BOG (und damit zumeist auch eine BOG-Druck-Veränderung), als auch eine Druckregulierung bei an sich im wesentlichen gleichbleibender Füllmenge.

Unter Boil-off-Gas (BOG) ist vorliegend gasförmiges LNG zu verstehen, insbesondere solches, das aufgrund sich verändernder Temperatur- oder Druckumgebung in einem Tank aus der flüssigen Phase in die gasförmige Phase übergegangen ist. BOG kann im Sinne der Erfindung im Tankvolumen eines erfindungsgemäßen Flüssiggastanks oder einer Weiterbildung „entstanden“ sein, aber auch einem herkömmlichen Tank entstammen, aus dem das Tankvolumen im Sinne der Erfindung befüllt wurde.

Unter einer Führung wird im Sinne der Erfindung insbesondere eine Rohrleitung oder eine Baugruppe von mehreren Rohrleitungen verstanden, wobei die Rohrleitungen vorzugsweise eingerichtet sind, LNG und/oder BOG unter den Flüssiggastransport üblichen Temperatur- und/oder Druckbedingungen zu transportieren. Dazu können gegebenenfalls entsprechende Verstärkungen und/oder Isolierungen vorgesehen sein.

Um den Flüssiggastank unter Verwendung eines Verfahrens im Sinne der Erfindung auch beladen zu können und damit zusätzlich Bauraum und ggf. Leitungskomponenten einsparen zu können, wird gemäß einer bevorzugten Weiterbildung wenigstens ein Teil des BOG für den BOG-Strom und/oder wenigstens ein Teil des LNG für den LNG-Strom dem Flüssiggastank von außerhalb des Tankvolumens ausgehend zugeführt, insbesondere aus wenigstens einem angeschlossenen Speicher einer Floating Storage Unit (FSU) oder eines LNG-Carriers oder einer Regas-Barge. Dazu sind vorzugsweise Beladungsführungen für BOG und/oder LNG vorgesehen.

Verschiedene Funktionen beim Betrieb des Flüssiggastanks, wie zum Beispiel das Beladen und die Druckregulierung für das bereits im Flüssiggastank befindliche BOG, können damit vereint sein bzw. gleichzeitig durchgeführt werden.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung wird wenigstens ein Teil des BOG für den BOG-Strom und/oder wenigstens ein Teil des LNG für den LNG-Strom aus dem Tankvolumen des

Flüssiggastanks selbst entnommen, insbesondere um eine Druckregulierung innerhalb des Tankvolumens auch unabhängig von einem Ladevorgang oder einem Entladevorgang durchführen zu können. Dazu sind vorzugsweise Umwälzungen für BOG und/oder LNG vorgesehen, bei denen der BOG- und der LNG-Strom im Sinne der Erfindung vereinigt werden.

Dadurch können die Druck-und/oder Temperaturverhältnisse innerhalb des Tankvolumens länger in einem gewünschten Bereich gehalten werden.

Vorzugsweise wird dabei LNG aus einem unteren Bereich des Tankvolumens mittels einer Pumpe in eine LNG-Führung gepumpt und/oder BOG mittels einer BOG-Führung und einem darin angeordneten Kompressor aus einem oberen Bereich des Tankvolumens abgesaugt. Die daraus resultierenden Ströme von LNG bzw. BOG werden dann vorzugsweise im Sinne der Erfindung miteinander vereinigt.

Um eine Druckregulierung im Flüssiggastank möglichst flexibel und fein einstellbar durchführen zu können, wird gemäß einer bevorzugten Weiterbildung dem BOG-Strom BOG aus dem Tankvolumen und aus wenigstens einem angeschlossenen Speicher zugeführt und/oder wird dem LNG-Strom LNG aus dem Tankvolumen und aus wenigstens einem angeschlossenen Speicher zugeführt.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die Beladungsführungen (synonym Befüllungsanordnungen) und/oder die Umwälzungen (synonym Umwälzungskreisläufe) ineinander führend ausgebildet sind und gemeinsam in das Tankvolumen münden können. Beispielsweise können in Strömungsrichtung zuerst die LNG Beladungsführung und die LNG Umwälzungsführung einerseits und die BOG-Beladungsführung und die BOG-Umwälzungsführung vereinigt werden und anschließend die vereinigte LNG-Führung und die vereinigte BOG-Führung im Sinne der Erfindung zusammengeführt werden.

Um auch nicht im BOG-Strom befindliches BOG kondensieren zu können, wird gemäß einer bevorzugten Weiterbildung das BOG-LNG-Gemisch oberhalb einer LNG-Füllhöhe des Tankvolumens in gasförmiges BOG eingeführt, insbesondere eingesprüht. Vorzugsweise liegt beim Einführen bereits das gesamte, in einer gemeinsamen BOG-LNG-Führung geführte BOG-LNG-Gemisch in flüssiger Phase vor und/oder ist besonders bevorzugt trotz der bereits erfolgten Einleitung von relativ betrachtet wärmerem BOG immer noch unterkühlt in Bezug auf die Druckbedingungen im Tankvolumen.

Zusätzlich oder alternativ wird das BOG-LNG-Gemisch gemäß einer bevorzugten Weiterbildung unterhalb einer LNG-Füllhöhe des Tankvolumens in flüssiges LNG eingeführt. Dies kann eine optimale Durchmischung des Inhaltes des Tankvolumens insbesondere hinsichtlich einer Temperaturverteilung ermöglichen.

Damit der Flüssiggastank mittels einer gemeinsamen BOG-LNG-Führung im Sinne der Erfindung auch befüllt werden kann und damit zusätzlich Bauraum und ggf. Leitungskomponenten einsparen zu können, weist gemäß einer bevorzugten Weiterbildung die BOG-Führung und/oder die LNG-Führung, insbesondere an ihrem tankvolumenfernen Ende, eine Fluidschnittstelle zu wenigstens einem anschließbaren Speicher, insbesondere einer Floating Storage Unit (FSU) oder eines LNG-Carriers oder einer Regas-Barge, auf und/oder ist eingerichtet, dem Tankvolumen BOG bzw. LNG aus einem angeschlossenen Speicher zuzuführen.

Eine solche Fluidschnittstelle kann – je nachdem welche Art Führung sie abschließt – als LNG-Schnittstelle und/oder als BOG-Schnittstelle ausgebildet sein. Es kann sich zudem um eine für die Handhabung von LNG oder BOG standardisierte Schnittstelle, aber auch um eine auf den Anschluss einer bestimmten Speicherart an den Flüssiggastank angepasste Schnittstelle handeln.

Um eine Druckregulierung im Tankvolumen unabhängig von einem Füllvorgang zu ermöglichen, ist gemäß einer bevorzugten Weiterbildung die BOG-Führung eingerichtet, oberhalb einer LNG-Füllhöhe gasförmiges BOG aus dem Tankvolumen zu entnehmen und/oder ist die LNG-Führung eingerichtet, unterhalb einer LNG-Füllhöhe flüssiges LNG aus dem Tankvolumen zu entnehmen.

Bei einer LNG-Füllhöhe kann es sich im Sinne der Erfindung beispielsweise um eine vorbestimmte Füllhöhe und/oder um einen Höhenbereich handeln, der die maximale und die minimale Füllhöhe des Tankvolumens mit flüssigem LNG angibt. Vorzugsweise ist im zweiten Fall eine BOG-Führung zur Entnahme von BOG oberhalb eines oberen Grenzwertes des Höhenbereichs angeordnet (weil sich dort im Normalfall immer BOG befindet), und eine LNG-Führung zur Entnahme von LNG unterhalb eines unteren Grenzwertes des Höhenbereichs (weil sich dort im Normalfall immer LNG befindet).

Um auch, nicht im BOG-Strom befindliches, BOG kondensieren zu können, ist gemäß einer bevorzugten Weiterbildung die Mündung der gemeinsamen BOG-LNG-Führung in das Tank-

volumen oberhalb einer, insbesondere vorbestimmten, LNG-Füllhöhe des Tankvolumens angeordnet.

Vorzugsweise weist dabei die Mündung eine Sprühdüse zum Versprühen des BOG-LNG-Gemischs auf, insbesondere um eine optimierte Kondensationswirkung hinsichtlich des oberhalb der LNG-Füllhöhe befindlichen BOG zu erreichen.

Zusätzlich oder alternativ ist die Mündung der gemeinsamen BOG-LNG-Führung in das Tankvolumen unterhalb einer, insbesondere vorbestimmten, LNG-Füllhöhe des Tankvolumens angeordnet, um eine optimale Durchmischung des flüssigen LNG im Tankvolumen, insbesondere hinsichtlich einer gleichmäßigen Temperaturverteilung, zu erreichen.

Um auch die bei der Einbindung in Abnehmer- bzw. Verbrauchernetze notwendige Verrohrung zu reduzieren, weist die LNG-Führung gemäß einer bevorzugten Weiterbildung eine Schnittstelle zu einem Abnehmer-/Verbrauchernetz auf, die eingerichtet ist, LNG aus dem Tankvolumen in das Abnehmer-/Verbrauchernetz einzuspeisen. Aus dem gleichen Grund weist die BOG-Führung gemäß einer bevorzugten Weiterbildung eine Schnittstelle zu einem Abnehmer-/Verbrauchernetz auf, die eingerichtet ist, BOG aus dem Tankvolumen in das Abnehmer-/Verbrauchernetz einzuspeisen.

Vorteilhafte Ausbildungen der verschiedenen Aspekte der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche. Weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung im Zusammenhang mit den Figuren, wobei ähnliche Bauteile in unterschiedlichen Figuren mit dem gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet sein können. Es zeigen, teilweise in stark schematisierter Darstellung,

- Fig. 1 in einer Schnittansicht einen Flüssiggastank nach einer Ausführung der Erfindung mit einer externen versorgten BOG-LNG-Führung;
- Fig. 2 in einer Schnittansicht einen Flüssiggastank nach einer weiteren Ausführung der Erfindung mit einer aus dem Tankvolumen versorgten BOG-LNG-Führung;
- Fig. 3 in einer Schnittansicht einen Flüssiggastank nach einer weiteren Ausführung der Erfindung, bei welchem die BOG-Führung und die LNG-Führung vollständig innerhalb der Tankhülle angeordnet sind;

- Fig. 4 in einer Schnittansicht einen Flüssiggastank nach einer weiteren Ausführung der Erfindung, wobei das BOG-LNG-Gemisch unterhalb der LNG-Füllhöhe verpresst wird;
- Fig. 5 in einer Schnittansicht einen Flüssiggastank nach einer weiteren Ausführung der Erfindung, an welchen ein koppelbarer Transporttank und Abnehmernetze angeschlossen sind;
- Fig. 6 in einer Schnittansicht einen Flüssiggastank, der sich von dem gemäß Figur 5 insbesondere dadurch unterscheidet, dass das BOG-LNG-Gemisch unterhalb der LNG-Füllhöhe verpresst wird; und
- Fig. 7 in einer Schnittansicht einen Flüssiggastank, an welchen neben einem koppelbaren Transporttank und Abnehmernetzen auch ein fest installierter Lagerungstank angeschlossen ist.

In Figur 1 ist ein Flüssiggastank 1 mit einem Tankvolumen 2 dargestellt, bei welchem die Erfindung auf eine Befüllungsanordnung 3 angewendet wird.

Der Flüssiggastank 1 ist von einer Tankhülle 4 begrenzt, die mittels einer Wärmeisolierschicht 6 thermisch gegenüber der Umgebung des Flüssiggastanks 1 isoliert ist. Der Flüssiggastank 1 ist bis zu einer LNG-Füllhöhe 8 mit flüssigem LNG 10 gefüllt; oberhalb der LNG-Füllhöhe 8 ist der Flüssiggastank 1 mit gasförmigem BOG 12 gefüllt.

Der Flüssiggastank 1 weist eine BOG-Führung 14 zum Führen von gasförmigem BOG auf, über die dem Tankvolumen 2 BOG aus einer externen Quelle zugeführt werden kann. Zudem weist der Flüssiggastank 1 eine LNG-Führung 16 zum Führen von flüssigem LNG auf, über die dem Tankvolumen 2 LNG aus einer externen Quelle zugeführt werden kann. Zur ausreichenden Förderung bzw. Kompression ist in diesem Ausführungsbeispiel ein Führungs-Kompressor 18 in der BOG-Führung 14 und eine Führungs-Pumpe 20 in der LNG-Führung 16 verbaut.

Jeweils stromabwärts des Führungs-Kompressors 18 und der Führungs-Pumpe 20 ist eine Vereinigungsstelle 22 vorgesehen, an welcher ein Rohrleitungselement der BOG-Führung 14 und ein Rohrleitungselement der LNG-Führung 16 in eine gemeinsame BOG-LNG-Führung 24 münden. Die gemeinsame BOG-LNG-Führung 24 ist im Ausführungsbeispiel als Rohrlei-

tungselement ausgebildet und erstreckt sich von der Vereinigungsstelle 22 bis zu einer Mündungsstelle 26 innerhalb des Tankvolumens 2, wobei das Rohrleitungselement die Tankhülle 4 an einer Durchbruchstelle 28 durchquert.

An der Mündungsstelle 26 schließt eine Sprühdüse 30 die BOG-LNG-Führung 24 ab, wobei die Mündungsstelle 26 oberhalb der LNG-Füllhöhe 8 angeordnet ist.

Unterhalb der LNG-Füllhöhe 8 ist eine Entladepumpe 32 zur Förderung von flüssigem LNG 10 durch eine Entladeführung 34 hin zu einer Schnittstelle eines LNG-Verbrauchernetzes 36 vorgesehen.

Der Flüssiggastank 1 gemäß dieser Ausführungsform kann also aus einer nicht dargestellten, externen Quelle von LNG und/oder BOG, beispielsweise einem LNG-Carrier, beladen werden und unabhängig davon in Richtung eines LNG-Verbrauchernetzes 36 wieder entladen werden.

Durch die erfindungsgemäße Zusammenführung eines BOG-Stroms in der BOG-Führung 14 und eines LNG-Stroms in der LNG-Führung 16 an der Vereinigungsstelle 22 kann das gasförmige BOG bereits vor Eintritt in das Tankvolumen 2 des Flüssiggastanks 1 in das ohnehin flüssige LNG einkondensiert werden.

Für den nötigen Druck sorgt in diesem Ausführungsbeispiel der Kompressor 18; denkbar wäre aber auch, dass das BOG aus der externen Quelle bereits mit ausreichend hohem Druck zur Verfügung gestellt wird. Das zugeführte LNG ist bezogen auf die herrschenden Verhältnisse unterkühlt und kann das eingepresste BOG somit verflüssigen.

Durch die frühzeitige Zusammenführung bereits an der Vereinigungsstelle 22 kann die Länge der insgesamt benötigten Rohrleitungselemente deutlich reduziert werden; zudem ist nur eine Durchbruchstelle 28 durch die Tankhülle 4 notwendig, anstatt wenigstens zweier solcher Durchbrüche bei getrennter Führung. Das vereinfacht die Herstellung des Flüssiggastanks 1, verglichen mit einer herkömmlichen Gestaltung.

Indem das BOG-LNG-Gemisch mittels der Sprühdüse 30 in das bereits im Tankvolumen 30 vorhandene BOG 12 eingesprüht wird, wird zusätzlich gasförmiges BOG 12 verflüssigt und somit – relativ betrachtet – der Druck im Tankvolumen 2 reduziert.

In Figur 2 ist ein Flüssiggastank 1 dargestellt, bei welchem die Erfindung auf einen Umwälzungskreislauf 38 angewendet wird.

Der Flüssiggastank 1 dieser Ausführungsform weist eine Führungs-Pumpe 120 zum Fördern von LNG in die LNG-Führung 116 auf. Zudem weist der Flüssiggastank 1 eine BOG-Führung 114 auf, in welcher ein Führungs-Kompressor 118 angeordnet ist. Die LNG-Führung 116 und die BOG-Führung 114 laufen in der Vereinigungsstelle 22 zusammen und münden in die gemeinsame BOG-LNG-Führung 24.

Um ein Befüllen des Flüssiggastanks 1 mit BOG bzw. LNG zu ermöglichen (Befüllungsanordnung 103), ist eine BOG-Ladeleitung 40 vorgesehen, die oberhalb der LNG-Füllhöhe innerhalb des Tankvolumens 2 mündet, und eine LNG-Ladeleitung 42, die unterhalb der LNG-Füllhöhe mündet.

Um ein Entleeren des Flüssiggastanks zu ermöglichen, zweigt von der LNG-Führung 116 eine Entladeleitung 44 ab, die über eine Standard-Schnittstelle mit einem LNG-Verbrauchsnetz 36 verbunden werden kann. An der Trennstelle 46 kann über ein geeignet schaltbares, nicht dargestelltes Ventil geschaltet werden, ob das LNG in Richtung der Vereinigungsstelle 22 und/oder in Richtung des Verbrauchernetzes 36 geleitet wird.

Bei dem Flüssiggastank 1 gemäß dieser Ausführungsform kann mittels des Umwälzungskreislaufs 38 unabhängig von Be- und/oder Entladevorgängen die Menge des gasförmigem vorliegenden BOG 12 reduziert und damit der Druck im Tankvolumen 2 reduziert werden.

Dazu wird mittels der Führung 114 und des zugehörigen Kompressors 118 gasförmiges BOG 12 aus dem oberen Teil des Tankvolumens (oberhalb der LNG-Füllhöhe) abgesaugt und in das mittels der Pumpe 120 in die Führung 116 geförderte, unterkühlte LNG einverflüssigt. Dies geschieht in der gemeinsamen Führung 24 ab der Vereinigungsstelle 22.

Durch das anschließende Einsprühen (Sprühdüse 30 hier nicht dargestellt) wird zusätzlich ein Teil des nicht abgesaugten BOG 12 im Tankvolumen verflüssigt, was zusätzlich den Druck im Tankvolumen 2 reduziert. Dieses Verfahren kann so lange durchgeführt werden, wie das flüssige LNG 10, das ja durch das Einspeisen des relativ betrachtet wärmeren gasförmigen BOG 12 erwärmt wird, immer noch unterkühlt ist – bezogen auf die im Tank vorherrschenden Druckverhältnisse. Eine Kühlung durch extern zugeführtes, relativ betrachtet kaltes LNG wird daher erst zu einem deutlich späteren Zeitpunkt nötig.

In Figur 3 ist ein Flüssiggastank 1 gezeigt, bei welchem die BOG-Führung und die LNG-Führung des Umwälzungskreislaufs 38 vollständig innerhalb der Tankhülle 4 angeordnet sind. Auch dieser Flüssiggastank weist eine Befüllungsanordnung 103 und eine analog zu Figur 1 ausgebildete Schnittstelle zu einem LNG-Verbrauchernetz 36 auf.

Zur Ausbildung des Umwälzungskreislaufs 38 sind innerhalb der Tankhülle 4 eine LNG-Führung 216 und eine rudimentäre BOG-Führung 214 ausgebildet. Die beiden Führungen 216 und 214 münden beide in eine Venturidüse 48, die oberhalb der LNG-Füllhöhe 8 angeordnet ist. Die Vereinigungsstelle 222 ist an den Eingängen der Venturidüse 48 angeordnet; die Mündungsstelle 26 an der gemeinsamen BOG-LNG-Führung 224, die vom stromabwärtigen Ende der Venturidüse 48 ausgeht.

Der Umwälzungskreislauf 38 ist also so gestaltet, dass dafür kein Durchbruch der Tankhülle 4 notwendig ist und benötigt zudem nur verhältnismäßig kurze Rohrleitungselemente.

Zur Druckregulierung wird bei dieser Ausführungsform flüssiges LNG 10 mittels der Pumpe 120 zur Venturidüse 48 gefördert, welches in der Düse 48 gasförmiges BOG 12 mitreißen kann, welches unter dem Druck des Tankvolumens 2 steht. In der Darstellung der Figur 3 ist eine sehr kurz ausgebildete BOG-Führung 214 eingezeichnet, die allerdings auch weggelassen werden könnte, solange die Venturidüse 48 einen geeigneten Einlass aufweist.

In Figur 4 ist ein Flüssiggastank 1 gezeigt, bei dem im Wesentlichen die Befüllungsanordnung 3 aus Figur 1 und der Umwälzungskreislauf 38 aus Figur 2 miteinander kombiniert sind, sodass in der hier beschriebenen Ausführungsform eine integrierte Leitungsanordnung mit einem Umwälzungskreislauf 338 und einer Befüllungsanordnung 303 ausgebildet ist.

Abweichend von den Ausführungsformen gemäß den Figuren 1 und 2 wird in der Darstellung in Figur 4 das BOG-LNG-Gemisch unterhalb der LNG-Füllhöhe 8 in das flüssige LNG 10 am Ende der gemeinsamen BOG-LNG-Führung eingepresst. Durch diese Ausbildung kann beispielsweise die Sprühdüse 30 gemäß Figur 1 eingespart werden, wenn die dadurch realisierte, zusätzliche Verflüssigungskapazität nicht benötigt wird.

In Figur 5 ist ein Flüssiggastank 1 gezeigt, an welchen ein koppelbarer Transporttank 50 (beispielsweise eines LNG-Carriers) und Abnehmernetze (LNG-Abnehmernetz 36 und BOG-Abnehmernetz 52) angeschlossen bzw. anschließbar sind.

Abgesehen von den nachfolgend beschriebenen Abweichungen stellt die in Figur 5 dargestellte Ausführungsform des Flüssiggastanks 1 im Wesentlichen dieselbe dar wie in Figur 4, nur dass die angeschlossene „externe Quelle“ mit dem Transporttank 50 (mit seiner BOG-Anschlussleitung 51 (entspricht funktional wenigstens teilweise der BOG-Führung 14 in Figur 1) und seiner LNG-Anschlussleitung 53 (entspricht funktional wenigstens teilweise der LNG-Führung 16 in Figur 1) explizit dargestellt ist. Die BOG-Anschlussleitung 51 ist mittels einer BOG-Fluidschnittstelle 15 an die BOG-Führung 114 gemäß Figur 5 angeschlossen, die LNG-Anschlussleitung 53 ist mittels einer LNG-Fluidschnittstelle 17 an die LNG-Führung 116 gemäß Figur 5 angeschlossen.

Zudem unterscheidet sich die Ausführungsform gemäß Figur 5 von der gemäß Figur 4 durch die Möglichkeit, über ein nicht dargestelltes Ventil und eine Entladeleitung 58 BOG (sowohl aus dem Tankvolumen 2 als auch aus dem Transporttank 50) in ein BOG-Verbrauchernetz 52 einzuspeisen. Anders als in Figur 4 wird das BOG-LNG-Gemisch oberhalb der LNG-Füllhöhe 8 eingesprüht.

Die in Figur 6 gezeigte Ausführungsform unterscheidet sich von der gemäß Figur 5 nur darin, dass das BOG-LNG-Gemisch wie in Figur 4 unterhalb der LNG-Füllhöhe 8 eingepresst wird.

In Figur 7 ist ein Flüssiggastank 1 dargestellt, an welchem neben einem koppelbaren Transporttank 50 und Abnehmernetzen 36 und 52 auch ein fest installierter Lagerungstank 60 angeschlossen ist.

Der Lagerungstank 60 weist im Wesentlichen bezüglich BOG und bezüglich LNG nur Schnittstellen zum Flüssiggastank 1 auf. Unterhalb der LNG-Füllhöhe (beider Tanks) ist sowohl eine LNG-Pumpe 54 zur Förderung von LNG aus dem Flüssiggastank 1 in den Lagerungstank 60 als auch eine LNG-Pumpe 56 zur Förderung von LNG aus dem Lagerungstank 60 in den Flüssiggastank 1 vorgesehen. Oberhalb der LNG-Füllhöhe ist sowohl ein BOG-Kompressor 62 zur Förderung von BOG aus dem Flüssiggastank 1 in den Lagerungstank 60 als auch ein BOG-Kompressor 64 zur Förderung von BOG aus dem Lagerungstank 60 in den Flüssiggastank 1 vorgesehen. Der Lagerungstank 60 ist also gleichsam dem Flüssiggastank 1 als Volumen- und/oder Kältekapazitäts-Erweiterung nachgeschaltet bzw. untergeordnet.

Der Lagerungstank 60 kann zum Beispiel als Speicher für stark unterkühltes LNG verwendet werden, indem er mit solchem gefüllt wird, wenn es gerade – beispielsweise durch eine ankommende Schiffsladung – in großen Mengen bereitsteht. Wenn dann in einer späteren Be-

triebsphase beispielsweise eine große Menge an verhältnismäßig warmem BOG aus einem anderen Transporttank 50 eines LNG-Carriers übernommen werden muss, kann dieses im Flüssiggastank 1 für lange Zeit rekondensiert werden, weil kaltes LNG aus dem Lagerungstank 60 nachgeführt werden kann.

Auch unabhängig von der Notwendigkeit zur Übernahme warmem BOGs aus einem Transporttank 50 kann der Lagerungstank 60 zur längerfristigen Stabilisierung der Unterkühlung des LNG im Flüssiggastank 1 dienen, indem wärmeres LNG aus dem Flüssiggastank 1 in den Lagerungstank 60 gepumpt und mit dem relativ kalten LNG dort gemischt wird und später oder gleichzeitig kälteres LNG aus dem Lagerungstank in den Flüssiggastank 1 gepumpt wird.

Die in den Figuren 5, 6 und 7 gezeigten Ausführungsformen von Flüssiggastanks 1 im Sinne der Erfindung veranschaulichen den typischen Fall einer Regas-Barge (die hier den Flüssiggastank 1 im Sinne der Erfindung beherbergt), die als Zwischenspeicher für BOG 12 und/oder LNG 10 nach Anlieferung durch einen LNG-Carrier (hier mit Transporttank 50) und vor Einspeisung in Verbrauchernetze 36 und/oder 52 dient. Durch die Verwendung eines Flüssiggastanks 1 im Sinne der Erfindung kann die Dauer der von außen unbeeinflussten zwischen Speicherung in der Regas-Barge bei sehr einfacher Bauweise deutlich verlängert werden.