



(10) **DE 10 2015 214 191 B3** 2016.12.08

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 214 191.8**  
(22) Anmeldetag: **27.07.2015**  
(43) Offenlegungstag: –  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **08.12.2016**

(51) Int Cl.: **F02M 21/02 (2006.01)**  
**F02M 21/06 (2006.01)**  
**F02D 19/02 (2006.01)**  
**F17C 7/04 (2006.01)**  
**F02B 43/00 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**MTU Friedrichshafen GmbH, 88045  
Friedrichshafen, DE**

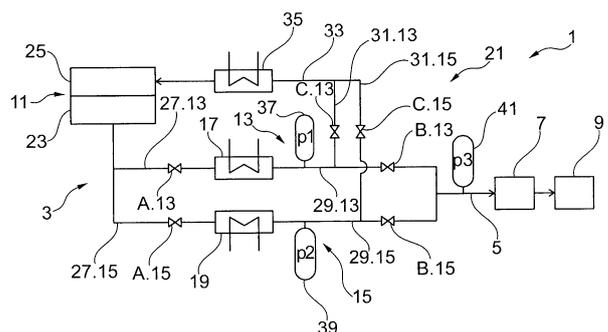
(72) Erfinder:  
**Boog, Manuel, Dr., 88255 Baidt, DE; Kunz, Peter,  
88149 Nonnenhorn, DE**

(74) Vertreter:  
**Gleiss Große Schrell und Partner mbB  
Patentanwälte Rechtsanwälte, 70469 Stuttgart, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:  
**US 2008 / 0 226 463 A1**  
**US 2014 / 0 299 101 A1**

(54) Bezeichnung: **Brenngasversorgungseinrichtung zur Bereitstellung eines Brenngases und Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Brenngasversorgungseinrichtung (3) zur Bereitstellung eines Brenngases an einem Brenngasversorgungspunkt (5), mit einem Brenngasreservoir (11), eingerichtet zur Speicherung von flüssigem Brenngas, wobei das Brenngasreservoir (11) mit einem ersten Versorgungspfad (13) und mit einem zweiten Versorgungspfad (15) fluidverbunden ist, wobei der erste Versorgungspfad (13) und der zweite Versorgungspfad (15) jeweils einen Wärmeübertrager (17, 19) aufweisen, der eingerichtet ist zum Verdampfen von flüssigem Brenngas, und mit einer Ventileinrichtung (21), die eingerichtet ist, um abwechselnd den ersten Versorgungspfad (13) mit dem Brenngasversorgungspunkt (5) zu verbinden und zugleich den zweiten Versorgungspfad (15) zu sperren oder mit dem Brenngasreservoir (11) zu verbinden, und den zweiten Versorgungspfad (15) mit dem Brenngasversorgungspunkt (5) zu verbinden und zugleich den ersten Versorgungspfad (13) zu sperren oder mit dem Brenngasreservoir (11) zu verbinden. Die Erfindung betrifft außerdem eine Brennkraftmaschine mit einer solchen Brenngasversorgungseinrichtung.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Brenngasversorgungseinrichtung sowie eine Brennkraftmaschine mit einer solchen Brenngasversorgungseinrichtung.

**[0002]** Eine Brenngasversorgungseinrichtung, die dazu dient, ein Brenngas für einen Verbraucher an einem Brenngasversorgungspunkt bereitzustellen, weist typischerweise ein Brenngasreservoir auf, welches eingerichtet ist zur Speicherung von flüssigem Brenngas. Das Brenngas liegt dabei insbesondere in tiefkaltem Zustand und somit verflüssigt vor. Um an dem Brenngasversorgungspunkt einen ausreichend hohen Versorgungsdruck bereitstellen zu können, ist es entweder nötig, das Brenngasreservoir insgesamt auf ein entsprechend hohes Druckniveau vorzuspannen, oder es muss eine Cryopumpe zur Verdichtung des tiefkalten Brenngases eingesetzt werden. Ein Vorspannen des Brenngasreservoirs auf einen hohen Druck ist aus Sicherheitsgründen problematisch, wobei ein erforderlicher Aufwand zur Gewährleistung einer hinreichenden Sicherheit mit steigender Tankgröße bis hin zu einem unzumutbaren Aufwand bei sehr großen Tanks ansteigt. Solch große Brenngasreservoirs müssen dann aus Festigkeitsgründen auch sehr schwer und damit teuer ausgestaltet werden. Hinzu kommt die Problematik, dass bei einer starken Bewegung des Brenngasreservoirs die Gefahr eines Tankschwappens und die Gefahr besteht, dass das Druckniveau in dem Brenngasreservoir absinkt. Dies ist beispielsweise bei Marine-Anwendungen der Fall, insbesondere wenn schwerer Seegang herrscht. Cryopumpen werden insbesondere für höhere Versorgungsdrücke, typischerweise größer als 4,5 bar absolut, eingesetzt. Nachteilig hieran ist, dass solche Systeme sehr teuer sind, wobei die Größenordnung der Kosten für ein solches Cryopumpensystem leicht im Bereich der Kosten für eine Brennkraftmaschine, welche mittels der Brenngasversorgungseinrichtung mit Brenngas versorgt werden soll, liegen kann.

**[0003]** Aus der US-amerikanischen Patentanmeldung US 2008/0 226 463 A1 gehen ein System und ein Verfahren zum Pumpen eines Prozessfluids von einem kryogenen Speichergefäß zu einem Verdampfer hervor, wobei das Prozessfluid als unter Druck gespanntes Gas erhalten wird. Das Verfahren umfasst das Messen einer Temperatur des Prozessfluids nachdem dieses den Verdampfer verlässt, wobei der Betrieb einer Pumpe temporär ausgesetzt wird, wenn die Temperatur des Prozessfluids kleiner als eine Schwellentemperatur ist, und wobei die Pumpe wieder neu betrieben wird, wenn wenigstens eine vorbestimmte Einschaltbedingung erfüllt und ein Druck des Prozessfluids kleiner ist als eine Hochdruckschwelle. Das System umfasst Komponenten, die miteinander zusammenwirken um das Verfahren auszuführen, umfassend einen Speicherbehälter, ei-

ne Pumpe, einen Verdampfer, eine Leitung zur Förderung des unter Druck gespannten Gases von dem Verdampfer zu einem Endverbraucher, einen Drucksensor und einen Temperatursensor zur Messung von Eigenschaften des Prozessfluids in der Leitung, und eine Steuereinheit zur Steuerung des Betriebs der Pumpe in Abhängigkeit von den Temperatur- und Druckmessungen.

**[0004]** Aus der US-amerikanischen Patentanmeldung US 2014/0 299 101 A1 gehen eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Versorgung einer Brennkraftmaschine auf einer Lokomotive mit einem gashaltigen Brennstoff von einem Tenderwagen hervor, umfassend das Speichern des gashaltigen Brennstoffs bei einer kryogenen Temperatur in einem kryogenen Speichertank auf dem Tenderwagen; Pumpen des gashaltigen Brennstoffs auf einen ersten Druck von dem kryogenen Speichertank; Verdampfen des gashaltigen Brennstoffs bei dem ersten Druck, und Fördern des verdampften gashaltigen Brennstoffs zu der Brennkraftmaschine, wobei ein Druck des verdampften gashaltigen Brennstoffs in einem Bereich zwischen 310 bar und 575 bar ist.

**[0005]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Brenngasversorgungseinrichtung und eine Brennkraftmaschine zu schaffen, bei welchen die genannten Nachteile nicht auftreten.

**[0006]** Die Aufgabe wird gelöst, indem die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche geschaffen werden. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

**[0007]** Die Aufgabe wird insbesondere gelöst, indem eine Brenngasversorgungseinrichtung geschaffen wird, welche zur Bereitstellung eines Brenngases an einem Brenngasversorgungspunkt eingerichtet ist, wobei die Brenngasversorgungseinrichtung ein Brenngasreservoir aufweist, das eingerichtet ist zur Speicherung von flüssigem Brenngas, wobei das Brenngasreservoir mit einem ersten Versorgungspfad und mit einem zweiten Versorgungspfad fluidverbunden ist. Dabei weisen der erste Versorgungspfad und der zweite Versorgungspfad jeweils einen Wärmeübertrager auf, insbesondere der erste Versorgungspfad einen ersten Wärmeübertrager und der zweite Versorgungspfad einen zweiten Wärmeübertrager, wobei jeder Wärmeübertrager eingerichtet ist, um flüssiges Brenngas zu verdampfen. Weiterhin weist die Brenngasversorgungseinrichtung eine Ventileinrichtung auf, die eingerichtet ist, um abwechselnd a) in einem ersten Betriebszustand den ersten Versorgungspfad mit dem Brenngasversorgungspunkt zu verbinden und zugleich den zweiten Versorgungspfad zu sperren oder mit dem Brenngasreservoir zu verbinden, und b) in einem zweiten Betriebszustand den zweiten Versorgungspfad mit dem Brenngasversorgungspunkt zu verbinden

und zugleich den ersten Versorgungspfad zu sperren oder mit dem Brenngasreservoir zu verbinden. Dadurch, dass die Versorgungspfade abwechselnd, insbesondere alternierend einmal mit dem Brenngasversorgungspunkt und ein anderes Mal mit dem Brenngasreservoir verbunden oder gesperrt werden, ist es möglich, wechselweise in den Versorgungspfaden einen höheren Druck – insbesondere durch Verdampfen des Brenngases in dem jeweiligen Wärmeübertrager – zu erzeugen, und dann den Brenngasversorgungspunkt mit dem derart unter Druck vorgespannten Brenngas zu versorgen. Ist das Druckniveau in einem Versorgungspfad nicht mehr ausreichend, wird auf den anderen Versorgungspfad umgeschaltet, in dem zwischenzeitlich ein erhöhter Brenngasdruck durch Zuführung von Brenngas aus dem Brenngasreservoir und durch Verdampfen des Brenngases in dem Wärmeübertrager erzeugt wurde. Es ist in diesem Fall nicht nötig, das Brenngasreservoir selbst auf ein für den Brenngasversorgungspunkt ausreichendes Druckniveau vorzuspannen, vielmehr kann das Brenngasreservoir ein niedrigeres Druckniveau aufweisen, insbesondere ein Druckniveau, welches gerade zur Speisung der Wärmeübertrager in den Versorgungspfaden ausreicht. Dies reduziert die Sicherheitsanforderungen und den Aufwand in der Auslegung des Brenngasreservoirs deutlich, was sich insbesondere positiv bei großen Brenngasreservoirs und/oder bei Marine-Anwendungen auswirkt. Weiterhin kann auf eine Crypumpe verzichtet werden, weil der für den Brenngasversorgungspunkt nötige Druck abwechselnd in den Versorgungspfaden mittels der Wärmeübertrager erzeugt werden kann.

**[0008]** Insgesamt wird so ein pumpenloses Brenngasversorgungssystem mit einer thermischen Druckerhöhungseinrichtung bereitgestellt, wobei sowohl das Vorspannen als auch die Förderung des Brenngases letztlich thermisch über die Wärmeübertrager geschieht.

**[0009]** Besonders bevorzugt ist die Brenngasversorgungseinrichtung frei von einer Crypumpe, sie weist also bevorzugt keine Crypumpe auf. Auf diese Weise kann die Brenngasversorgungseinrichtung selbst kostengünstig und einfach ausgestaltet sein.

**[0010]** Unter einem Brenngas wird insbesondere ein unter Normalbedingungen, insbesondere also bei 1013 mbar absolut und bei 25°C, gasförmiger Stoff verstanden, der brennbar ist. Das Brenngas ist bevorzugt geeignet, um eine Brennkraftmaschine mit dem Brenngas als Brennstoff zu betreiben. Besonders bevorzugt weist das Brenngas Methan auf oder besteht aus Methan. Das Brenngas ist vorzugsweise unter Kühlung und/oder Druckerhöhung verflüssigbar und insoweit in einem Brenngasreservoir als flüssiges Brenngas speicherbar, insbesondere in einem tiefkalten Brenngasreservoir als tiefkaltes, flüssiges Brenngas. Besonders bevorzugt handelt es sich

bei dem Brenngas um Erdgas. Verflüssigtes Erdgas wird auch als liquefied natural gas (LNG) bezeichnet. Es ist in besonderer Weise zur Speicherung in flüssiger Form in einem Brenngasreservoir und zum Betrieb von Brennkraftmaschinen geeignet.

**[0011]** Unter einem Brenngasversorgungspunkt wird insbesondere ein Ort der Brenngasversorgungseinrichtung verstanden, an welchem das Brenngas mit einem zur Versorgung eines Verbrauchers vorgesehenen Druckniveau vorliegt, und an welchem die Brenngasversorgungseinrichtung bevorzugt mit dem Verbraucher fluidverbunden ist. Der Brenngasversorgungspunkt kann mit einer Gasregelstrecke des Verbrauchers wirkverbunden sein, wobei dann der Brenngasdruck an dem Brenngasversorgungspunkt einem Eingangsdruck für die Gasregelstrecke entspricht, wobei der eigentliche Verbrauchsort des Verbrauchers, beispielsweise ein Brennraum einer Brennkraftmaschine oder ein Injektor, mit einem durch die Gasregelstrecke eingestellten, niedrigeren Druckniveau versorgt wird, als dies an dem Brenngasversorgungspunkt herrscht. Die beiden Versorgungspfade sind vorzugsweise mit dem gleichen Brenngasversorgungspunkt fluidverbunden, sodass der Brenngasversorgungspunkt abwechselnd von dem einen Versorgungspfad und von dem anderen Versorgungspfad mit Brenngas versorgt werden kann.

**[0012]** Die Brenngasversorgungseinrichtung ist insbesondere eingerichtet, um das Brenngas an dem Brenngasversorgungspunkt oberhalb eines ersten Druckniveaus bereitzustellen. Dabei ist die Brenngasversorgungseinrichtung insbesondere eingerichtet um zu überwachen, dass der Druck an dem Brenngasversorgungspunkt nicht unter das erste Druckniveau sinkt. Das erste Druckniveau ist vorzugsweise höher als ein Druck in dem Brenngasreservoir. Die Druckerhöhung wird durch Verdampfen des Brenngases in den Wärmeübertragern bewirkt.

**[0013]** Unter einem Sperren eines Versorgungspfads wird insbesondere verstanden, dass dieser fluidisch sowohl von dem Brenngasversorgungspunkt als auch von dem Brenngasreservoir getrennt ist. Der Versorgungspfad ist in diesem Fall bevorzugt von seiner Umgebung vollständig separiert.

**[0014]** Die Brenngasversorgungseinrichtung ist außerdem bevorzugt eingerichtet, um den ersten Versorgungspfad von dem Brenngasreservoir zu trennen, wenn der erste Versorgungspfad mit dem Brenngasversorgungspunkt verbunden ist. Sie ist weiterhin bevorzugt eingerichtet, um den ersten Versorgungspfad von dem Brenngasversorgungspunkt zu trennen, wenn dieser mit dem Brenngasreservoir verbunden ist. Analog gilt genau das Gleiche bevorzugt für den zweiten Versorgungspfad.

**[0015]** Es wird ein Ausführungsbeispiel der Brenngasversorgungseinrichtung bevorzugt, das sich dadurch auszeichnet, dass das Brenngasreservoir ein erstes Speichervolumen für flüssiges Brenngas und ein zweites Speichervolumen für gasförmiges Brenngas, insbesondere als Druckpolster für das erste Speichervolumen, aufweist. Dies entspricht einem für sich genommen bekannten Aufbau des Brenngasreservoirs, wobei das zweite Speichervolumen mithilfe des Druckpolsters vorgespannt werden kann. Hierzu ist bevorzugt eine Druckaufbaueinrichtung, die insbesondere einen Druckaufbauverdampfer aufweist, zwischen dem ersten Speichervolumen und dem zweiten Speichervolumen – insbesondere außerhalb des Brenngasreservoirs – vorgesehen, so dass mittels der Druckaufbaueinrichtung ein Druck in dem Druckpolster durch Verdampfen von Brenngas eingestellt werden kann. Besonders bevorzugt ist hierbei der Druck in dem ersten Speichervolumen und/oder in dem zweiten Speichervolumen regelbar. Das Brenngasreservoir kann so bei einem vorbestimmten und insbesondere durch das Druckpolster definierten Druck gehalten werden. Das erste Speichervolumen und das zweite Speichervolumen sind in dem Brenngasreservoir vorzugsweise nur durch die Phasengrenze zwischen dem flüssigen Brenngas (Flüssigphase) und dem gasförmigen Brenngas (Gasphase) getrennt.

**[0016]** Die Ventileinrichtung ist bevorzugt eingerichtet, um dann, wenn einer der Versorgungspfade mit dem Brenngasversorgungspunkt verbunden ist, den anderen, nicht mit dem Brenngasversorgungspunkt verbundenen Versorgungspfad c) mit dem zweiten Speichervolumen zu verbinden, d) mit dem ersten Speichervolumen zu verbinden, und e) zu sperren. Auf diese Weise ist es möglich, den nicht mit dem Brenngasversorgungspunkt verbundenen Versorgungspfad insbesondere zuerst mit dem zweiten Speichervolumen zu verbinden, um den Versorgungspfad zu dem zweiten Speichervolumen hin druckzuentlasten und insoweit ein Nachströmen von flüssigem Brenngas zu ermöglichen, diesen dann mit dem ersten Speichervolumen zu verbinden, damit flüssiges Brenngas aus dem ersten Speichervolumen in den Versorgungspfad nachströmen kann, und anschließend den Versorgungspfad zu sperren – insbesondere nämlich sowohl gegenüber dem Brenngasversorgungspunkt als auch gegenüber dem Brenngasreservoir, um mittels des Wärmeübertragers in dem Versorgungspfad das in dem Wärmeübertrager vorliegende, flüssige Brenngas zu verdampfen und damit den Druck in dem Versorgungspfad zu erhöhen.

**[0017]** Der andere, nicht mit dem Brenngasversorgungspunkt verbundene Versorgungspfad wird also bevorzugt zuerst mit dem zweiten Speichervolumen verbunden und damit druckentlastet, dann mit dem ersten Speichervolumen verbunden und mit flüssi-

gem Brenngas beschickt, und dann anschließend gesperrt, wobei das flüssige Brenngas in dem Versorgungspfad durch den Wärmeübertrager verdampft wird.

**[0018]** Auf diese Weise ist es möglich, einen gegenüber dem Druckniveau des Brenngasreservoirs erhöhten Brenngasdruck in dem Versorgungspfad bereitzustellen. Sinkt dann das Druckniveau in dem mit dem Brenngasversorgungspunkt verbundenen Versorgungspfad und zugleich an dem Brenngasversorgungspunkt auf oder unter ein bestimmtes Niveau, kann dieser Versorgungspfad von dem Brenngasversorgungspunkt getrennt werden, und der andere Versorgungspfad kann mit dem Brenngasversorgungspunkt verbunden werden, sodass wieder ein erhöhter Brenngasdruck zur Versorgung des Brenngasversorgungspunkts zur Verfügung steht. Es kann nun der eine, zuvor mit dem Brenngasversorgungspunkt verbundene, nun aber von diesem getrennte Versorgungspfad – wie zuvor für den anderen Versorgungspfad beschrieben – zunächst mit dem zweiten Speichervolumen verbunden werden, dann mit dem ersten Speichervolumen verbunden werden, und schließlich gesperrt werden. Diese Schritte können alternierend durchgeführt werden, um abwechselnd aus dem ersten und zweiten Versorgungspfad ein ausreichend hohes Druckniveau an dem Brenngasversorgungspunkt bereitzustellen.

**[0019]** Insgesamt weist die Ventileinrichtung bevorzugt folgende Schaltzustände auf: Einen ersten Schaltzustand, in dem der erste Versorgungspfad mit dem ersten Speichervolumen in Fluidverbindung ist, wobei der zweite Versorgungspfad mit dem Brenngasversorgungspunkt in Fluidverbindung ist. In diesem Fall fließt flüssiges Brenngas aus dem ersten Speichervolumen in den ersten Versorgungspfad, wobei der Brenngasversorgungspunkt aus dem zweiten Versorgungspfad gespeist wird.

**[0020]** In einem zweiten Schaltzustand ist der erste Versorgungspfad gesperrt, und der zweite Versorgungspfad ist weiterhin mit dem Brenngasversorgungspunkt in Fluidverbindung. Der Brenngasversorgungspunkt wird also weiterhin aus dem zweiten Versorgungspfad gespeist, wobei in dem ersten, gesperrten Versorgungspfad mittels des Wärmeübertragers flüssiges Brenngas verdampft und unter Druck gespannt wird.

**[0021]** In einem dritten Schaltzustand ist der erste Versorgungspfad mit dem Brenngasversorgungspunkt in Fluidverbindung, wobei der zweite Versorgungspfad mit dem zweiten Speichervolumen in Fluidverbindung ist. In diesem Fall wird nunmehr der Brenngasversorgungspunkt aus dem ersten Versorgungspfad gespeist, wobei der zweite Versorgungspfad zu dem Druckpolster hin druckentlastet wird, so dass er ein gleiches Druckniveau aufweist wie das

Brenngasreservoir, sodass in einem nächsten Schritt flüssiges Brenngas aus dem Brenngasreservoir in den zweiten Versorgungspfad nachströmen kann.

**[0022]** In einem vierten Schaltzustand ist weiterhin der erste Versorgungspfad mit dem Brenngasversorgungspunkt fluidverbunden. Zugleich ist der zweite Versorgungspfad mit dem ersten Speichervolumen in Fluidverbindung. Auf diese Weise wird der Brenngasversorgungspunkt aus dem ersten Versorgungspfad gespeist, wobei flüssiges Brenngas aus dem ersten Speichervolumen in den zweiten Versorgungspfad strömen kann. Dabei strömt es insbesondere in dessen Wärmeübertrager.

**[0023]** In einem fünften Betriebszustand ist weiterhin der Brenngasversorgungspunkt mit dem ersten Versorgungspfad in Fluidverbindung und wird aus diesem gespeist, wobei der zweite Versorgungspfad gesperrt ist. Dabei wird mittels des Wärmeübertragers in dem zweiten Versorgungspfad flüssiges Brenngas verdampft und so unter Druck gespannt.

**[0024]** In einem sechsten Schaltzustand ist schließlich der zweite Versorgungspfad wieder mit dem Brenngasversorgungspunkt in Fluidverbindung, wobei zugleich der erste Versorgungspfad mit dem zweiten Speichervolumen in Fluidverbindung ist, sodass er zu dem Druckpolster hin druckentlastet wird.

**[0025]** An den sechsten Schaltzustand schließt sich bevorzugt der erste Schaltzustand wieder an, sodass insgesamt eine zyklische Abfolge der hier einzeln beschriebenen sechs Schaltzustände realisiert wird. Es wird deutlich, dass dabei in alternierender Weise der Brenngasversorgungspunkt stets mit unter erhöhtem Druck vorgespanntem Brenngas aus einem der beiden Versorgungspfade versorgt wird, wobei in dem anderen Versorgungspfad Maßnahmen getroffen werden, um das erhöhte Druckniveau wieder aufzubauen. Es bedarf daher weder einer Cryopumpe, noch muss das Brenngasreservoir selbst auf dem für den Brenngasversorgungspunkt vorgesehenen Druckniveau gehalten werden.

**[0026]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Ventileinrichtung für jeden Versorgungspfad jeweils ein erstes Schaltventil in einer ersten Fluidverbindung zwischen dem ersten Speichervolumen und dem Wärmeübertrager, und ein zweites Schaltventil in einer zweiten Fluidverbindung zwischen dem Wärmeübertrager und dem Brenngasversorgungspunkt aufweist. Die erste Fluidverbindung erstreckt sich dabei von dem ersten Speichervolumen zu einem Einlass des Wärmeübertragers. Die zweite Fluidverbindung erstreckt sich von einem Auslass des Wärmeübertragers zu dem Brenngasversorgungspunkt. Mittels der Schaltventile ist es möglich, den Versorgungspfad entweder mit dem Brenngasreservoir oder mit dem Brenngasversor-

gungspunkt fluidzuverbinden, oder den Versorgungspfad zu sperren, indem entweder jeweils eines der beiden Schaltventile geöffnet und das andere geschlossen wird, oder indem beide Schaltventile geschlossen werden.

**[0027]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Ventileinrichtung für jeden Versorgungspfad jeweils ein drittes Schaltventil in einer dritten Fluidverbindung zwischen dem Wärmeübertrager und dem zweiten Speichervolumen aufweist. Die dritte Fluidverbindung erstreckt sich vorzugsweise ausgehend von einem Mündungspunkt aus der zweiten Fluidverbindung stromabwärts des Auslasses des Wärmeübertragers und stromaufwärts des zweiten Schaltventils zu einer Mündung in das zweite Speichervolumen. Mittels des dritten Schaltventils ist es demnach möglich, den Versorgungspfad zu dem zweiten Speichervolumen hin druckzuentlasten, wobei dieser zugleich sowohl von dem ersten Speichervolumen als auch von dem Brenngasversorgungspunkt getrennt werden kann, indem nämlich das erste Schaltventil und das zweite Schaltventil geschlossen werden, wobei jedoch das dritte Schaltventil geöffnet wird.

**[0028]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass dem Brenngasversorgungspunkt, dem ersten Versorgungspfad und/oder dem zweiten Versorgungspfad jeweils ein Pufferbehälter zugeordnet ist/sind. Besonders bevorzugt ist dem ersten Versorgungspfad ein erster Pufferbehälter zugeordnet. Alternativ oder zusätzlich ist dem zweiten Versorgungspfad ein zweiter Pufferbehälter zugeordnet. Alternativ oder zusätzlich ist dem Brenngasversorgungspunkt ein dritter Pufferbehälter zugeordnet. Der wenigstens eine Pufferbehälter dient dazu, unter Druck gespanntes Brenngas zu speichern und ein Puffervolumen bereitzustellen, insbesondere um einen eingestellten Druck über einen bestimmten Zeitraum aufrechterhalten oder zumindest langsam absinken lassen zu können. Auf diese Weise kann abhängig von den Volumina der Pufferbehälter eine Schaltfrequenz zwischen den verschiedenen Schaltzuständen bestimmt werden, wobei das Volumen des wenigstens einen Pufferbehälters insbesondere bestimmt, wie lange es bei einem bestimmten Brenngasabfluss von dem Brenngasversorgungspunkt zu einem Verbraucher dauert, bis das Druckniveau an dem Brenngasversorgungspunkt ausgehend von einem in einem der Versorgungspfade eingestellten, erhöhten Druckniveau auf das erste Druckniveau abgesunken ist.

**[0029]** Die den Versorgungspfaden zugeordneten Pufferbehälter sind vorzugsweise jeweils stromabwärts des Wärmeübertragers und bevorzugt stromaufwärts der Mündung des dritten Fluidpfades in den zweiten Fluidpfad angeordnet. Der dritte Pufferbehälter ist vorzugsweise stromabwärts einer Zusam-

menführung der Versorgungspfade in einem gemeinsamen Leitungsabschnitt des Brenngasversorgungspunkts angeordnet.

**[0030]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Ventileinrichtung abhängig von einem Druck in dem Pufferbehälter, welcher dem Brenngasversorgungspunkt zugeordnet ist, schaltbar ist. Dabei wird insbesondere stets dann die Fluidverbindung des Brenngasversorgungspunkts zwischen einem der Versorgungspfade und dem anderen Versorgungspfad umgeschaltet, wenn das Druckniveau in dem Pufferbehälter ein vorbestimmtes Schaltdruckniveau erreicht oder unterschreitet. Dabei liegt das vorbestimmte Schaltdruckniveau bevorzugt etwas oberhalb des ersten Druckniveaus, welches an dem Brenngasversorgungspunkt nicht unterschritten werden soll. Zum Schalten der Schaltzustände des anderen Versorgungspfad während der Fluidverbindung des einen Versorgungspfad mit dem Brenngasversorgungspunkt wird vorzugsweise eine Prognose bezüglich des Verlaufs des Drucks in dem dritten Pufferbehälter herangezogen. Insbesondere wird bevorzugt der andere Versorgungspfad so rechtzeitig gesperrt, dass in ausreichender Zeit vor dem Umschalten der Fluidverbindung auf den anderen Versorgungspfad in diesem ein ausreichend hoher Brenngasdruck durch den Wärmeübertrager aufgebaut werden kann. Zur Prognose des Drucks in dem dritten Pufferbehälter wird vorzugsweise eine zeitliche Ableitung dieses Drucks herangezogen.

**[0031]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Brenngasversorgungseinrichtung eingerichtet ist, um den Wärmeübertrager eines Versorgungspfad zu aktivieren, wenn der Versorgungspfad gesperrt ist, und um den Wärmeübertrager des Versorgungspfad ansonsten, das heißt in allen anderen Schaltzuständen oder Betriebszuständen des Versorgungspfad oder der Ventileinrichtung, zu deaktivieren. Vorzugsweise gilt dies für jeden Wärmeübertrager jedes Versorgungspfad der Brenngasversorgungseinrichtung. Diese Ausgestaltung ist besonders ökonomisch, da die Wärmeübertrager nur dann aktiviert werden, wenn tatsächlich in den Versorgungspfad flüssiges Brenngas verdampft werden soll. Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn die Wärmeübertrager dann deaktiviert sind, wenn der entsprechende Versorgungspfad mit dem ersten Speichervolumen des Brenngasreservoirs in Fluidverbindung ist, um keine überflüssige Wärme in das tiefkalte Brenngasreservoir einzutragen. Weiterhin würde ein mit aktiviertem Wärmeübertrager in dem Versorgungspfad notwendigerweise entstehender Druck durch Verdampfen des Brenngases auch ein Nachfließen von flüssigem Brenngas aus dem Brenngasreservoir behindern oder zumindest verzögern.

**[0032]** Die Wärmeübertrager sind daher bevorzugt schaltbar ausgebildet, wobei sie angeschaltet werden können, wenn flüssiges Brenngas in den Wärmeübertragern verdampft werden soll, wobei sie ansonsten abgeschaltet werden können.

**[0033]** Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass wenigstens eine Kühleinrichtung in den dritten Fluidverbindungen angeordnet ist. Mittels einer solchen Kühleinrichtung kann das zu dem Druckpolster hin druckentlastete, gasförmige Brenngas gekühlt werden, um einen zusätzlichen Wärmeeintrag in das Brenngasreservoir zu verringern oder zu verhindern. Das gasförmige Brenngas, welches in das Druckpolster zurückgeführt werden soll, ist nämlich beim Verlassen der Versorgungspfade trotz des Kühlungseffekts durch die Entspannung der Druckentlastung wärmer als das Temperaturniveau des tiefkalten Brenngasreservoirs.

**[0034]** Besonders bevorzugt werden die den Versorgungspfad zugeordneten dritten Fluidpfade zusammengeführt in einen gemeinsamen Leitungsabschnitt, der sie mit dem zweiten Speichervolumen verbindet, wobei in besonders ökonomischer Weise eine Kühleinrichtung in dem gemeinsamen Leitungsabschnitt vorgesehen sein kann.

**[0035]** Die Aufgabe wird schließlich auch gelöst, indem eine Brennkraftmaschine geschaffen wird, welche eine Brenngasversorgungseinrichtung nach einem der zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiele aufweist. Dabei ergeben sich in Zusammenhang mit der Brennkraftmaschine die Vorteile, die bereits in Zusammenhang mit der Brenngasversorgungseinrichtung erläutert wurden.

**[0036]** Ein Motorblock der Brennkraftmaschine ist vorzugsweise mit dem Brenngasversorgungspunkt der Brenngasversorgungseinrichtung verbunden. Insbesondere ist es möglich, dass zwischen dem Brenngasversorgungspunkt und dem Motorblock eine Gasregelstrecke angeordnet ist.

**[0037]** Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise als Hubkolbenmotor ausgebildet. Es ist möglich, dass die Brennkraftmaschine zum Antrieb eines Personenkraftwagens, eines Lastkraftwagens oder eines Nutzfahrzeugs eingerichtet ist. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel dient die Brennkraftmaschine dem Antrieb insbesondere schwerer Land- oder Wasserfahrzeuge, beispielsweise von Minenfahrzeugen, Zügen, wobei die Brennkraftmaschine in einer Lokomotive oder einem Triebwagen eingesetzt wird, oder von Schiffen. Auch ein Einsatz der Brennkraftmaschine zum Antrieb eines der Verteidigung dienenden Fahrzeugs, beispielsweise eines Panzers, ist möglich. Ein Ausführungsbeispiel der Brennkraftmaschine wird vorzugsweise auch stationär, beispielsweise zur stationären Energieversorgung im Notstrom-

betrieb, Dauerlastbetrieb oder Spitzenlastbetrieb eingesetzt, wobei die Brennkraftmaschine in diesem Fall vorzugsweise einen Generator antreibt. Auch eine stationäre Anwendung der Brennkraftmaschine zum Antrieb von Hilfsaggregaten, beispielsweise von Feuerlöschpumpen auf Bohrinseln, ist möglich. Weiterhin ist eine Anwendung der Brennkraftmaschine im Bereich der Förderung fossiler Roh- und insbesondere Brennstoffe, beispielsweise Öl und/oder Gas, möglich. Auch eine Verwendung der Brennkraftmaschine im industriellen Bereich oder im Konstruktionsbereich, beispielsweise in einer Konstruktions- oder Baumaschine, zum Beispiel in einem Kran oder einem Bagger, ist möglich. Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise als Dieselmotor, als Benzinmotor, als Gasmotor zum Betrieb mit Erdgas, Biogas, Sondergas oder einem anderen geeigneten Gas, ausgebildet. Insbesondere wenn die Brennkraftmaschine als Gasmotor ausgebildet ist, ist sie für den Einsatz in einem Blockheizkraftwerk zur stationären Energieerzeugung geeignet.

**[0038]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert.

**[0039]** Dabei zeigen:

**[0040]** Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer Brennkraftmaschine mit einer Brenngasversorgungseinrichtung, und

**[0041]** Fig. 2 eine schematische, diagrammatische Darstellung der Funktionsweise der Brenngasversorgungseinrichtung.

**[0042]** Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine **1** mit einer Brenngasversorgungseinrichtung **3**, die eingerichtet ist zur Bereitstellung eines Brenngases oberhalb eines ersten Druckniveaus an einem Brenngasversorgungspunkt **5**. Mit dem Brenngasversorgungspunkt **5** ist eine Gasregelstrecke **7** verbunden, mit welcher wiederum ein Motorblock **9** verbunden ist. Über die Gasregelstrecke **7** kann dem Motorblock **9** von der Brenngasversorgungseinrichtung **3** bereitgestelltes Brenngas zugeführt werden. Dabei wird das Brenngas durch die Brenngasversorgungseinrichtung **3** der Gasregelstrecke **7** an dem Brenngasversorgungspunkt **5** mit einem Druck oberhalb des ersten Druckniveaus bereitgestellt, wobei die Gasregelstrecke **7** dazu dient, den Druck in geregelter Weise auf einen vorbestimmten Eingangsdruck für den Motorblock **9** zu reduzieren.

**[0043]** Die Brennkraftversorgungseinrichtung **3** weist ein Brenngasreservoir **11** auf, das eingerichtet ist zur Speicherung von flüssigem Brenngas, insbesondere zur Speicherung von tiefkaltem, flüssigem Brenngas, insbesondere von verflüssigtem Erdgas (LNG).

**[0044]** Das Brenngasreservoir **11** ist mit einem ersten Versorgungspfad **13** und mit einem zweiten Versorgungspfad **15** fluidverbunden. Der erste Versorgungspfad **13** weist einen ersten Wärmeübertrager **17** auf, und der zweite Versorgungspfad **15** weist einen zweiten Wärmeübertrager **19** auf. Die Wärmeübertrager **17**, **19** sind eingerichtet zum Verdampfen von flüssigem Brenngas.

**[0045]** Es ist eine Ventileinrichtung **21** vorgesehen, die eingerichtet ist, um abwechselnd den ersten Versorgungspfad **13** mit dem Brenngasversorgungspunkt **5** zu verbinden und zugleich den zweiten Versorgungspfad **15** zu sperren oder mit dem Brenngasreservoir **11** zu verbinden, und den zweiten Versorgungspfad **15** mit dem Brenngasversorgungspunkt **5** zu verbinden und zugleich den ersten Versorgungspfad **13** zu sperren oder mit dem Brenngasreservoir **11** zu verbinden.

**[0046]** Das Brenngasreservoir **11** weist ein erstes Speichervolumen **23** für flüssiges Brenngas sowie ein zweites Speichervolumen **25** für gasförmiges Brenngas, insbesondere als Druckpolster für das erste Speichervolumen **23**, auf. Das erste Speichervolumen **23** und das zweite Speichervolumen **25** sind in dem Brenngasreservoir **11** vorzugsweise nur durch die Phasengrenze zwischen dem flüssigen Brenngas (Flüssigphase) und dem gasförmigen Brenngas (Gasphase) getrennt.

**[0047]** Die Ventileinrichtung **21** ist eingerichtet, um dann, wenn einer der Versorgungspfade **13**, **15** mit dem Brenngasversorgungspfad **5** verbunden ist, den anderen Versorgungspfad **15**, **13** mit dem zweiten Speichervolumen **25** zu verbinden, ihn danach mit dem ersten Speichervolumen **23** zu verbinden, und ihn anschließend zu sperren.

**[0048]** Die Ventileinrichtung **21** weist hierfür in jedem Versorgungspfad ein erstes Schaltventil auf, nämlich in dem ersten Versorgungspfad **13** ein erstes Schaltventil A.13 und in dem zweiten Versorgungspfad **15** ein erstes Schaltventil A.15. Die ersten Schaltventile A.13, A.15 sind jeweils in ersten Fluidpfaden **27.13**, **27.15** angeordnet, welche den Versorgungspfaden **13**, **15** zugeordnet sind, und welche jeweils das erste Speichervolumen **23** mit jeweils einem Eingang der Wärmeübertrager **17**, **19** verbinden.

**[0049]** Die Ventileinrichtung **21** weist außerdem in jedem der Versorgungspfade **13**, **15** ein zweites Schaltventil B.13, B.15 auf, wobei diese zweiten Schaltventile B.13, B.15 jeweils in zweiten Fluidpfaden **29.13**, **29.15** angeordnet sind, welche jeweils einen Ausgang der Wärmeübertrager **17**, **19** mit dem Brenngasversorgungspunkt **5** verbinden.

**[0050]** Weiterhin weist die Ventileinrichtung **21** für jeden der Versorgungspfade **13**, **15** ein drittes Schalt-

ventil C.13, C.15 auf, welches jeweils in einem dritten Fluidpfad **31.13**, **31.15** angeordnet ist, wobei sich die dritten Fluidpfade **31.13**, **31.15** jeweils ausgehend von jeweils einer Mündung in die zweiten Fluidpfade **29.13**, **29.15** zu dem zweiten Speichervolumen **25** erstrecken. Dabei münden die dritten Fluidpfade **31.13**, **31.15** jeweils stromabwärts der Ausgänge der Wärmeübertrager **17.19** und stromaufwärts der zweiten Schaltventile B.13, B.15 in die zweiten Fluidpfade **29.13**, **29.15**. Die dritten Fluidpfade **31.13**, **31.15** werden zusammengeführt zu einem gemeinsamen Leitungsabschnitt **33**, durch den sie gemeinsam verlaufen, wobei der gemeinsame Leitungsabschnitt **33** in das zweite Speichervolumen **25** mündet. In dem gemeinsamen Leitungsabschnitt **33** ist eine Kühleinrichtung **35** zur Kühlung des den gemeinsamen Leitungsabschnitt **33** durchströmenden Brenngases angeordnet.

**[0051]** Dem ersten Versorgungspfad **13** ist ein erster Pufferbehälter **37** zugeordnet, in dem ein erster Druck  $p_1$  herrscht. Dem zweiten Versorgungspfad **15** ist ein zweiter Pufferbehälter **39** zugeordnet, in dem ein zweiter Druck  $p_2$  herrscht. Die Pufferbehälter **37**, **39** sind in den Versorgungspfaden **13**, **15** jeweils stromabwärts der Ausgänge der Wärmeübertrager **17**, **19** und bevorzugt stromaufwärts der Mündungen der dritten Fluidpfade **31.13**, **31.15** angeordnet.

**[0052]** Dem Brenngasversorgungspunkt **5** ist ein dritter Pufferbehälter **41** zugeordnet, in dem ein dritter Druck  $p_3$  herrscht.

**[0053]** Die Drücke  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  sind zeitlich variabel. Vorzugsweise ist zumindest dem dritten Pufferbehälter **41** ein Drucksensor zugeordnet, welcher den Druck in dem dritten Pufferbehälter **41** überwacht. Zusätzlich ist es möglich, dass wenigstens einem der ersten und zweiten Pufferbehälter **37**, **39**, besonders bevorzugt beiden Pufferbehältern **37**, **39** jeweils ein Drucksensor zugeordnet ist.

**[0054]** Die Ventileinrichtung **21** wird vorzugsweise abhängig von dem Druck  $p_3$  in dem dritten Pufferbehälter **41** geschaltet, wobei insbesondere auch eine Prognose über die zukünftige Entwicklung des Drucks  $p_3$  in das Schaltverhalten der Ventileinrichtung **21** einbezogen wird.

**[0055]** Die Ventileinrichtung **21** weist bevorzugt eine nicht dargestellte Steuereinrichtung auf, welche einerseits mit dem Drucksensor und andererseits mit den Schaltventilen wirkverbunden ist, sodass mittels der Steuereinrichtung die Schaltventile abhängig von dem durch den Drucksensor erfassten Druck schaltbar sind.

**[0056]** Fig. 2 zeigt eine diagrammatische Funktionsweise der Brennkraftversorgungseinrichtung **3**. Dabei

sind hier in drei untereinander dargestellten Diagrammen die Drücke  $p_1$ ,  $p_2$  und  $p_3$  gegen die Zeit  $t$  aufgetragen.

**[0057]** In einem mit  $T_1$  bezeichneten Zeitintervall befindet sich die Ventileinrichtung **21** in einem ersten Schaltzustand, in welchem in dem ersten Versorgungspfad **13** das erste Schaltventil A.13 geöffnet, das zweite Schaltventil B.13 geschlossen und das dritte Schaltventil C.13 geschlossen sind. In dem zweiten Versorgungspfad sind das erste Schaltventil A.15 geschlossen, das zweite Schaltventil B.15 geöffnet, und das dritte Schaltventil C.15 geschlossen. In diesem Fall fließt flüssiges Brenngas aus dem ersten Speichervolumen **23** in den ersten Wärmeübertrager **17**, wobei zugleich der Brenngasversorgungspunkt **5** und damit auch die Gasregelstrecke **7** aus dem zweiten Versorgungspfad **15** mit gasförmigem Brenngas versorgt wird. Der erste Druck  $p_1$  liegt dabei auf dem Niveau des Drucks  $p_R$  in dem Brenngasreservoir **11**, sodass flüssiges Brenngas insbesondere gravitationsgetrieben nachströmen kann. Die Drücke  $p_2$ ,  $p_3$  in dem zweiten Versorgungspfad **15** und im Brenngasversorgungspunkt **5** sind identisch und fallen mit der Zeit  $t$ , weil Brenngas in die Gasregelstrecke **7** abgeführt wird. Dabei wird bevorzugt anhand der Rate, mit welcher die Drücke  $p_2$ ,  $p_3$  – insbesondere der Druck  $p_3$  – mit der Zeit  $t$  absinkt, eine Prognose getroffen, wann der Druck  $p_3$  voraussichtlich ein erstes, vorbestimmtes Druckniveau  $p_n$  erreichen wird. Rechtzeitig vorher wird die Ventileinrichtung **21** in einen zweiten Schaltzustand geschaltet, welcher in einem zweiten Zeitintervall  $T_2$  vorliegt.

**[0058]** In diesem zweiten Schaltzustand sind alle Schaltventile A.13, B.13, C.13 des ersten Versorgungspfades **13** geschlossen, wobei in dem zweiten Versorgungspfad wiederum nur das zweite Schaltventil B.15 geöffnet und alle anderen Schaltventile geschlossen sind. Der Brenngasversorgungspunkt **5** und damit die Gasregelstrecke **7** werden also weiterhin aus dem zweiten Versorgungspfad **15** versorgt, was auch an den unverändert fallenden Drücken  $p_2$ ,  $p_3$  erkennbar ist.

**[0059]** In dem ersten Versorgungspfad wird der erste Wärmeübertrager **17** aktiviert, wodurch flüssiges Brenngas verdampft wird, und ein Druckaufbau erfolgt.

**[0060]** Kurz bevor der dritte Druck  $p_3$  das erste Druckniveau  $p_n$  erreicht, wird die Ventileinrichtung **21** umgeschaltet in einen dritten Schaltzustand  $T_3$ . In diesem dritten Schaltzustand sind in dem ersten Versorgungspfad **13** das erste Schaltventil A.13 geschlossen, das zweite Schaltventil B.13 geöffnet, und das dritte Schaltventil C.13 geschlossen. In dem zweiten Versorgungspfad sind das erste Schaltventil A.15 und das zweite Schaltventil B.15 geschlossen, wobei das dritte Schaltventil C.15 geöffnet ist. Der

Brenngasversorgungspunkt **5** wird nun aus dem ersten Versorgungspfad gespeist, weshalb der Druck  $p_3$  schlagartig beim Umschalten in den dritten Schaltzustand T3 auf das Druckniveau des ersten Drucks  $p_1$  steigt, wobei beide dann gemeinsam und synchron aufgrund der Versorgung der Gasregelstrecke **7** mit Brenngas absinken. Der zweite Versorgungspfad **15** wird dagegen über den dritten Fluidpfad **31.15** und das dritte Schaltventil C.15 zu dem zweiten Speichervolumen **25** hin druckentlastet, sodass der Druck hier auf das Druckniveau des Brenngasreservoirs **11**  $p_R$  absinkt.

**[0061]** Ist dieses Druckniveau  $p_R$  erreicht, wird die Ventileinrichtung **21** in einen vierten Schaltzustand T4 geschaltet. In diesem sind in dem ersten Versorgungspfad **13** wiederum das erste Schaltventil A.13 geschlossen, das zweite Schaltventil B.13 geöffnet und das dritte Schaltventil C.13 geschlossen, sodass der Brenngasversorgungspunkt **5** weiterhin aus dem ersten Versorgungspfad **13** versorgt wird. In dem zweiten Versorgungspfad **15** ist nun das erste Schaltventil A.15 geöffnet, während das zweite Schaltventil B.15 und das dritte Schaltventil C.15 geschlossen sind. Es strömt also flüssiges Brenngas aus dem Brenngasreservoir **11**, konkret aus dem ersten Speichervolumen **23**, in den zweiten Wärmeübertrager **19**, wobei dies insbesondere gravitationsgetrieben möglich ist, weil das Brenngasreservoir **11** und der zweite Versorgungspfad **15** das gleiche Druckniveau  $p_R$  aufweisen.

**[0062]** Wiederum rechtzeitig, bevor der dritte Druck  $p_3$  das vorbestimmte erste Druckniveau  $p_n$  erreicht, wird die Ventileinrichtung **21** in einen fünften Schaltzustand T5 geschaltet. In diesem fünften Schaltzustand sind in dem ersten Versorgungspfad **13** das erste Schaltventil A.13 geschlossen, das zweite Schaltventil B.13 geöffnet, und das dritte Schaltventil C.13 geschlossen, sodass der Brenngasversorgungspunkt **5** weiterhin aus dem ersten Versorgungspfad **13** versorgt wird. In dem zweiten Versorgungspfad **15** sind jetzt alle Schaltventile A.15, B.15, C.15 geschlossen, und der zweite Wärmeübertrager **19** wird aktiviert, sodass in dem zweiten Versorgungspfad **15** ein Druckaufbau erfolgt.

**[0063]** Kurz bevor der Druck  $p_3$  das vorbestimmte, erste Druckniveau  $p_n$  erreicht, wird die Ventileinrichtung **21** in einen sechsten Schaltzustand T6 geschaltet. In diesem sind in dem ersten Versorgungspfad **13** das erste Schaltventil A.13 und das zweite Schaltventil B.13 geschlossen, wobei das dritte Schaltventil C.13 geöffnet ist. Der erste Versorgungspfad **13** wird nun also über den dritten Fluidpfad **31.13** und das dritte Schaltventil C.13 zu dem Druckpolster **25** hin entlastet, wodurch der Druck auf das Druckniveau  $p_R$  des Brenngasreservoirs **11** absinkt. Zugleich wird nun der Brenngasversorgungspunkt **5** wieder aus dem zweiten Versorgungspfad **15** gespeist, in welchem

das erste Schaltventil A.15 geschlossen, das zweite Schaltventil B.15 geöffnet und das dritte Schaltventil C.15 geschlossen sind.

**[0064]** An den sechsten Schaltzustand T6 schließt sich nun wiederum der erste Schaltzustand T1 an, und es ergibt sich insgesamt eine zyklische Abfolge der hier beschriebenen sechs Schaltzustände.

**[0065]** Auf diese Weise ist es möglich, den Druck  $p_3$  in dem Brenngasversorgungspunkt **5** und insbesondere in dem diesem zugeordneten Pufferbehälter **41**, stets oberhalb des ersten, vorbestimmten Druckniveaus  $p_n$  und insbesondere oberhalb des Druckniveaus  $p_R$  des Brenngasreservoirs **11** zu halten.

**[0066]** Dies ist ohne Pumpe möglich, vielmehr ergibt sich die Druckerhöhung über das Druckniveau  $p_R$  des Brenngasreservoirs hinaus ausschließlich durch das abwechselnde Schalten der Versorgungspfade **13**, **15** und der Zufuhr thermischer Energie in den Wärmeübertragern **17**, **19**.

**[0067]** Es ist somit möglich, das Brenngasreservoir **11** auf einem niedrigeren Druckniveau  $p_R$  zu halten, als es für die Brenngasversorgung eines Verbrauchers, hier der Gasregelstrecke **7** beziehungsweise dem Motorblock **9**, nötig ist.

**[0068]** Insgesamt ergeben sich so mittels der Brenngasversorgungseinrichtung **3** und der Brennkraftmaschine **1** reduzierte Kosten für das Brenngasreservoir **11** und eine Reduktion des Gewichts des Brenngasreservoirs **11**. Eine Cryopumpe kann entfallen, und es ist eine Sicherheit gegenüber einem Druckeinbruch bei Tankschwappen gegeben, sodass die hier vorgeschlagene Brenngasversorgungseinrichtung **3** besonders geeignet ist für Marine-Anwendungen.

### Patentansprüche

1. Brenngasversorgungseinrichtung (**3**) zur Bereitstellung eines Brenngases an einem Brenngasversorgungspunkt (**5**), mit
  - einem Brenngasreservoir (**11**), eingerichtet zur Speicherung von flüssigem Brenngas, wobei
  - das Brenngasreservoir (**11**) mit einem ersten Versorgungspfad (**13**) und mit einem zweiten Versorgungspfad (**15**) fluidverbunden ist, wobei
  - der erste Versorgungspfad (**13**) und der zweite Versorgungspfad (**15**) jeweils einen Wärmeübertrager (**17**, **19**) aufweisen, der eingerichtet ist zum Verdampfen von flüssigem Brenngas, und mit
  - einer Ventileinrichtung (**21**), die eingerichtet ist, um abwechselnd
    - a) den ersten Versorgungspfad (**13**) mit dem Brenngasversorgungspunkt (**5**) zu verbinden und zugleich den zweiten Versorgungspfad (**15**) zu sperren oder mit dem Brenngasreservoir (**11**) zu verbinden, und

b) den zweiten Versorgungspfad (15) mit dem Brenngasversorgungspunkt (5) zu verbinden und zugleich den ersten Versorgungspfad (13) zu sperren oder mit dem Brenngasreservoir (11) zu verbinden.

2. Brenngasversorgungseinrichtung (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Brenngasreservoir (11) ein erstes Speichervolumen (23) für flüssiges Brenngas und ein zweites Speichervolumen (25) für gasförmiges Brenngas als Druckpolster für das erste Speichervolumen (23) aufweist, wobei die Ventileinrichtung (21) eingerichtet ist, um dann, wenn einer der Versorgungspfade (13, 15) mit dem Brenngasversorgungspunkt (5) verbunden ist, den anderen Versorgungspfad (15, 13)

c) zuerst mit dem zweiten Speichervolumen (25) zu verbinden,

d) dann mit dem ersten Speichervolumen (23) zu verbinden, und

e) anschließend zu sperren.

3. Brenngasversorgungseinrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ventileinrichtung (21) für jeden Versorgungspfad (13, 15) ein erstes Schaltventil (A.13, A.15) in einer ersten Fluidverbindung (27.13, 27.15) zwischen dem ersten Speichervolumen (23) und dem Wärmeübertrager (17, 19), und ein zweites Schaltventil (B.13, B.15) in einer zweiten Fluidverbindung (29.13, 29.15) zwischen dem Wärmeübertrager (17, 19) und dem Brenngasversorgungspunkt (5) aufweist.

4. Brenngasversorgungseinrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ventileinrichtung (21) für jeden Versorgungspfad (13, 15) ein drittes Schaltventil (C.13, C.15) in einem dritten Versorgungspfad (31.13, 31.15) zwischen dem Wärmeübertrager (17, 19) und dem zweiten Speichervolumen (25) aufweist.

5. Brenngasversorgungseinrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Brenngasversorgungspunkt (5), dem ersten Versorgungspfad (13) und/oder dem zweiten Versorgungspfad (15) ein Pufferbehälter (37, 39, 41) zugeordnet ist/sind.

6. Brenngasversorgungseinrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ventileinrichtung (21) abhängig von einem Druck in dem dem Brenngasversorgungspunkt (5) zugeordneten Pufferbehälter (41) schaltbar ist.

7. Brenngasversorgungseinrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brenngasversorgungseinrichtung (3) eingerichtet ist, um den Wärmeübertrager (17, 19) eines der Versorgungspfade (13, 15) zu

aktivieren, wenn der Versorgungspfad (13, 15) gesperrt ist, und um den Wärmeübertrager (17, 19) ansonsten zu deaktivieren.

8. Brenngasversorgungseinrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens eine Kühleinrichtung (35) in dem dritten Fluidpfad (31.13, 31.15) angeordnet ist.

9. Brennkraftmaschine (1), mit einer Brenngasversorgungseinrichtung (3) nach einem der Ansprüche 1 bis 8.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

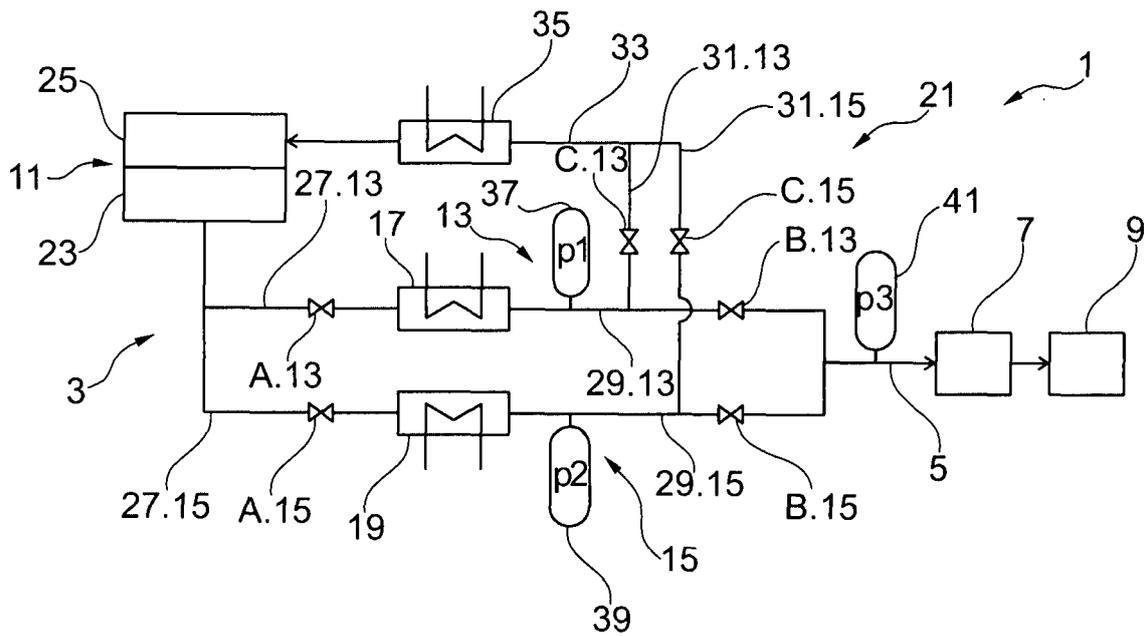


Fig. 1

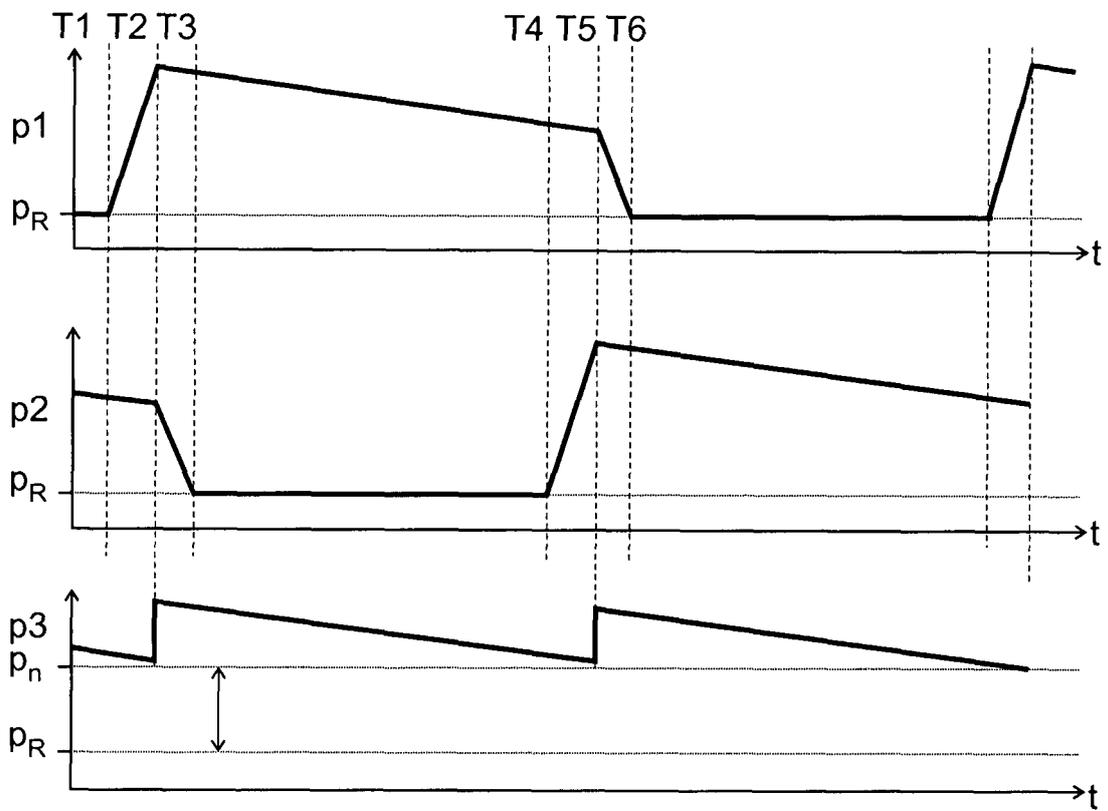


Fig. 2