

(19)



(11)

EP 4 491 933 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
15.01.2025 Patentblatt 2025/03

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F17C 5/04 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23184888.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F17C 5/04

(22) Anmeldetag: **11.07.2023**

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

(72) Erfinder:
• **CARDELLA, Umberto**
87437 Kempten (DE)
• **FORSTNER, Christian**
4810 Gmunden (AT)

(74) Vertreter: **Tautz & Schuhmacher**
Nibelungenstraße 84
80639 München (DE)

(71) Anmelder: **Cryomotive GmbH**
85630 Grasbrunn (DE)

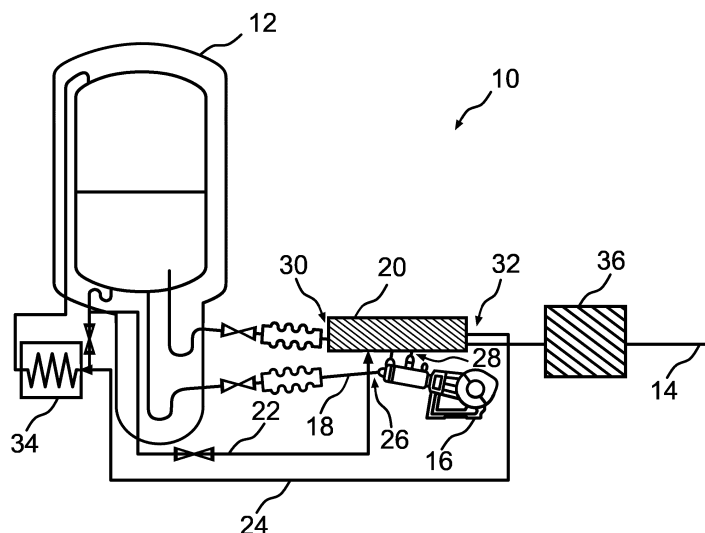
Bemerkungen:

Geänderte Patentansprüche gemäß Regel 137(2)
EPÜ.

(54) **WASSERSTOFFTANKANLAGE UND VERFAHREN ZUR AUSGABE VON KRYOGENEM WASSERSTOFF**

(57) Bereitgestellt wird ein Verfahren (200) zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff aus einer Wasserstofftankanlage (10) mit einem Flüssigwasserstofftank (12), einem Kryopumpensystem (16) und einer Ausgabeleitung (14). Das Verfahren umfasst ein Fördern (202) eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff über eine Förderleitung (18) mittels des Kryopumpensystems aus dem Flüssigwasserstofftank (12) zur der Ausgabeleitung (14). Das Verfahren (200) ist dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren ferner ein Entnehmen (204) eines zweiten kryogenen Stroms von kryogenem

Wasserstoff über eine Kühlleitung (22) aus dem Flüssigwasserstofftank (12), sowie ein Kühlen (206) des Kryopumpensystems (16) und/oder eines Ausgangsstroms des Kryopumpensystems (16) und/oder der Ausgabeleitung (14) mittels des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff, und ein zumindest teilweises Zurückführen (208) des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank nach dem Kühlen (206) des Kryopumpensystems (16) und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems und/oder der Ausgabeleitung umfasst.

**Fig. 1****EP 4 491 933 A1**

Beschreibung

[0001] Bereitgestellt werden ein Verfahren zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff aus einer Wasserstofftankanlage, eine Wasserstofftankanlage zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff, ein Krypumpensystem zur Förderung eines Stroms von kryogenem Wasserstoff von einem Flüssigwassertank zu einer Ausgabeleitung, und eine Verwendung eines Wärmetauschers zur Abführung von Wärme eines Krypumpensystems. Die Ausführungsformen liegen somit insbesondere auf dem Gebiet der Wasserstofftankanlagen.

[0002] Bei der Speicherung technischer Gase in Form tiefkalter Flüssigkeiten ist es im Stand der Technik bekannt, zur Aufrechterhaltung des Drucks im Speichertank einen Teil des verflüssigten Gases über einen Wärmetauscher an der Umgebungsluft zu verdampfen und gasförmig in den Speichertank zurückzuleiten, wie beispielsweise in der DE 539336 C beschrieben. Dabei geht wertvolle und aufwändig erzeugte Kälte verloren.

[0003] Steigt durch Wärmeeintrag der Druck im Speichertank über einen Schwellwert hinaus an, kann es nötig sein, Gas an die Umgebung abzublasen oder, im Falle brennbarer Gase, abzublasen oder einer Verwertung zuzuführen, um ein Bersten des Tanks zu vermeiden.

[0004] Auch ist es im Stand der Technik bekannt, bei der Ausgabe von kryogenen Medien zur Betankung eines Verbrauchers die Betankungsleitungen bis zum Füllstutzen durch Spülen mit dem besagten kryogenen Medien vorzukühlen. Das so erwärmte Medium wird herkömmlicherweise über eine Rückführleitung gesammelt und kann, erneut komprimiert und gekühlt, wieder abgegeben werden, wie beispielsweise in der DE 10 2013 003999. Auch eine Kühlung der Leitungen mit flüssigem Stickstoff wurde erwogen.

[0005] Die DE102014015987 beschreibt die Verwendung von bereits im Speichertank verdampftem Wasserstoff zur Vorkühlung der Leitungen zur Zapfsäule, bevor dieser abgeblasen oder katalytisch verbrannt wird. Das ist aber nur in sehr speziellen Situationen sinnvoll, etwa bei Inbetriebnahme (auch nach einer Ruhezeit) der Tankstelle. Der durch die ständige Entnahme von Wasserstoff bedingte Druckabfall kühlt den Tank während des Regelbetriebes, so dass in diesem Betriebszustand kein nennenswerter Druckanstieg im Speichertank zu erwarten ist. Wasserstoff verdampft im Speichertank regelmäßig nur dann, wenn die Tankstelle nicht in Betrieb ist. In diesem Fall ist jedoch regelmäßig kein Bedarf an einer Kühlung vorhanden, da die Pumpen und/oder Kompressoren nicht in Betrieb sind und da kein Wasserstoff durch die Leitungen fließt, ist auch die Temperatur der Leitungen unerheblich.

[0006] Es liegt die Aufgabe zugrunde, eine Wasserstofftankanlage, ein Krypumpensystem, eine Verwendung eines Wärmetauschers und ein Verfahren zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff aus einer Wasserstofftankanlage bereitzustellen, welche den Stand der Tech-

nik bereichern und optional Nachteile des Standes der Technik vermeiden.

[0007] Die Aufgabe wird gelöst durch eine Wasserstofftankanlage, ein Krypumpensystem, eine Verwendung eines Wärmetauschers und ein Verfahren zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff aus einer Wasserstofftankanlage mit den Merkmalen der jeweiligen unabhängigen Ansprüche. Optionale Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen und in der Beschreibung angegeben.

[0008] Bereitgestellt wird ein Verfahren zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff aus einer Wasserstofftankanlage mit einem Flüssigwassertank, einem Krypumpensystem und einer Ausgabeleitung. Das Verfahren umfasst ein Fördern eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff über eine Förderleitung mittels des Krypumpensystems aus dem Flüssigwassertank zur der Ausgabeleitung. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass es ferner ein Entnehmen eines zweiten kryogenen Stroms von kryogenem Wasserstoff über eine Kühlleitung aus dem Flüssigwassertank umfasst. Ferner umfasst das Verfahren ein Kühlen des Krypumpensystems und/oder weiterer Komponenten der Wasserstofftankanlage und/oder eines Ausgangsstroms des Krypumpensystems und/oder der Ausgabeleitung mittels des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff, und ein zumindest teilweises Zurückführen des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwassertank nach dem Kühlen des Krypumpensystems und/oder des Ausgangsstroms des Krypumpensystems und/oder der Ausgabeleitung.

[0009] Ferner wird eine Wasserstofftankanlage zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff bereitgestellt, welche einen Flüssigwassertank, eine Ausgabeleitung zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff, und ein Krypumpensystem zur Förderung eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff über eine Förderleitung aus dem Flüssigwassertank zur Ausgabeleitung umfasst. Die Wasserstofftankanlage umfasst zudem einen Wärmetauscher zum Kühlen des Krypumpensystems und/oder eines Ausgangsstroms des Krypumpensystems und/oder der Ausgabeleitung mittels eines über eine Kühlleitung aus dem Flüssigwassertank entnommenen zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff, und eine Rückführleitung zum zumindest teilweisen Zurückführen des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwassertank nach dem Kühlen des Krypumpensystems und/oder des Ausgangsstroms des Krypumpensystems und/oder der Ausgabeleitung.

[0010] Des Weiteren wird ein Krypumpensystem zur Förderung eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff von einem Flüssigwassertank zu einer Ausgabeleitung bereitgestellt. Das Krypumpensystem umfasst einen Fördereingang für eine Zuleitung des ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff aus dem Flüssigwassertank, und einen Förderausgang für eine Förderung des ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff in die Ausgabeleitung. Zudem umfasst das Krypumpensystem einen Wärmetauscher mit einem Kühleingang

und einem Kühlausgang, wobei der Wärmetauscher dazu ausgestaltet ist, mittels eines über den Kühleingang zugeführten zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff aus dem Flüssigwasserstofftank Wärme des Kryopumpensystems über den Kühlausgang in den Flüssigwasserstofftank abzuführen.

[0011] Außerdem wird eine Verwendung eines Wärmetauschers zur Abführung von Wärme eines Kryopumpensystems zur Förderung eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff aus einem Flüssigwasserstofftank mittels eines zweiten Stroms von aus dem Flüssigwasserstofftank entnommenem und in den Flüssigwasserstofftank zurückgeführtem kryogenem Wasserstoff bereitgestellt.

[0012] Kryogener Wasserstoff ist dabei tiefkalter Wasserstoff. Die Temperatur des kryogenen Wasserstoffs kann dabei 100 K oder weniger betragen. Insbesondere kann die Ausgabe von kryogenem Wasserstoff die Ausgabe von flüssigem Wasserstoff und/oder gasförmigen Wasserstoff unter hohem Druck und/oder kryo-komprimiertem Wasserstoff (C_2H_2), gasförmigem Wasserstoff unter Druck zwischen 1 bar und ca. 500 bar bei kryogenen Temperaturen zwischen 30 K und ca. 200 K, umfassen.

[0013] Eine Wasserstofftankanlage ist dabei ein Tankanlage zur Ausgabe von Wasserstoff an Verbraucher, etwa an mit Wasserstoff betriebene Kraftfahrzeuge und/oder zur Befüllung von Speicherbehältern für Wasserstoff, insbesondere für kryo-komprimierten Wasserstoff.

[0014] Der Flüssigwasserstofftank ist dabei ein Tank zur Speicherung von Wasserstoff, wobei der gespeicherte Wasserstoff teilweise oder vollständig in flüssiger Form gespeichert ist. Die Abgabe des Wasserstoffs, etwa bei einem Tankvorgang, kann optional die Ausgabe von kryo-komprimiertem, flüssigem und/oder von gasförmigem Wasserstoff umfassen.

[0015] Ein Kryopumpensystem ist dabei ein Pumpensystem, welches für die Förderung und Verdichtung von kryogenem Wasserstoff geeignet oder ausgelegt ist. Dabei kann das Kryopumpensystem eine Pumpe und optional weitere Komponenten umfassen, wie etwa eine oder mehrere Vorrichtungen zur Kühlung der Pumpe und/oder anderer Elemente, mit welchen der kryogene Wasserstoff bei der Förderung in thermischen Kontakt gelangt. Das Kryopumpensystem kann dabei über die Förderleitung an den Flüssigwasserstofftank angeschlossen sein und über die Förderleitung den kryogenen Wasserstoff zur Förderung und Verdichtung ansaugen. Das Kryopumpensystem kann ferner über die Ausgabeleitung mit einer Schnittstelle für den Tankvorgang eines oder mehrerer Verbraucher verbunden sein, etwa mit einer oder mehreren Zapfsäulen, zu welcher der angesaugte Wasserstoff von dem Kryopumpensystem gefördert wird.

[0016] Die Kühlleitung ist dabei nicht identisch mit der Förderleitung. Die Förderleitung kann separat von der Kühlleitung ausgebildet sein. Optional können die Förderleitung und die Kühlleitung aneinander und/oder pa-

rallel angrenzend verlaufen und/oder gemeinsam gegen die Umgebung thermisch isoliert sein. Optional kann die Kühlleitung die Förderleitung zumindest teilweise die Förderleitung spiralförmig umwinden und/oder konzentrisch umgeben. Die Kühlleitung kann dazu dienen, Wasserstoff aus dem Flüssigwasserstofftank zum Zwecke der Kühlung des Kryopumpensystems und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems und/oder der Ausgabeleitung mittels des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff bereitzustellen, wobei die Ausgabe und/oder Verbrauch des über die Kühlleitung entnommenen Wasserstoffs nicht zwingend vorgesehen sein muss. Vielmehr kann vorgesehen sein, den über die Kühlleitung entnommenen Wasserstoff zur Erhaltung des optimalen Förderdrucks direkt oder indirekt wieder dem Flüssigwasserstofftank zuzuführen. Dass ein zumindest teilweises Zurückführen des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank nach dem Kühlen des Kryopumpensystems und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems und/oder der Ausgabeleitung erfolgt, bedeutet dabei, dass wenigstens ein Teil des Wasserstoffs wieder zurückgeführt wird, während optional ein anderer Teil des Wasserstoffs einem anderen Zweck zugeführt werden kann. Die Kühlleitung kann vakuumisoliert ausgestaltet sein.

[0017] Der Wärmetauscher ist dabei eine Vorrichtung zur Übertragung von Wärme vom Kryopumpensystem und/oder vom Ausgangsstrom des Kryopumpensystems und/oder von der Ausgabeleitung auf den zweiten Strom von kryogenem Wasserstoff und optional für die Abfuhr der übertragenen Wärme. Der Wärmetauscher kann somit in thermischem Kontakt mit dem Kryopumpensystem und/oder dem Ausgangsstrom des Kryopumpensystems und/oder dem der Ausgabeleitung stehen.

[0018] Die Offenbarung bietet den Vorteil, dass eine effiziente Kühlung von Komponenten der Wasserstofftankanlage erfolgen kann, mit welchen der kryogene Wasserstoff während des Tankvorgangs in Berührung kommt. So kann offenbarungsgemäß eine effiziente Kühlung des Kryopumpensystems und/oder Leitungen bis zum Füllstutzen, sowie des abzugebenden Wasserstoffs selbst erfolgen. Damit kann eine Maximierung der Dichte des abgegebenen Wasserstoffs bis auf über 80 kg/m^3 erreicht werden, wodurch eine Speicherung des abgegebenen Wasserstoffs bei hoher Dichte und ein hoher Massenfluss des abgegebenen Wasserstoffs erreicht werden kann. Somit bietet die Offenbarung den Vorteil, dass auch solche Kraftfahrzeuge mit Wasserstoff betankt werden können, welche den Wasserstoff mit einer besonders hohen Dichte aufnehmen und/oder speichern müssen. Dies kann den Vorteil bieten, dass auch Nutzfahrzeuge, wie etwa Lastkraftwagen, an einer offenbarungsgemäßen Wasserstofftankanlage mit Wasserstoff effizient versorgt werden können, da die Betankung von großen Wasserstoffmengen in kürzerer Zeit erfolgen kann, als dies im Stand der Technik möglich ist.

[0019] Zudem bietet die Offenbarung den Vorteil, dass der bei der Kühlung des Kryopumpensystems, der Aus-

gabelung und/oder des Ausgangsstroms sich erwärmende und optional verdampfende Wasserstoff nicht an die Umgebung verloren geht, sondern zumindest teilweise dem Flüssigwasserstofftank wieder zugeführt werden kann, um diesen auf einem Gleichgewichtsdruck zu halten, der ansonsten durch zusätzliche Wärmezufuhr gewährleistet werden müsste. Dadurch können die Verluste von Wasserstoff beim Betrieb der Wasserstofftankanlage gering gehalten werden und entsprechend eine Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Wasserstofftankstelle im Vergleich zu herkömmlichen Wasserstofftankstellen erhöht werden. Die Kälte aus einer Verdampfung des flüssigen Wasserstoffs für die Kühlung geht somit nicht vollständig an die Umgebungsluft verloren, sondern wird thermodynamisch optimiert zur Betankung genutzt.

[0020] Des Weiteren und optional kann eine offenbarungsgemäße Wasserstofftankanlage auf einen externen Druckaufbauwärmetauscher entweder ganz verzichten, oder mit einem kleineren Druckaufbauwärmetauscher arbeiten.

[0021] Zudem bietet die Offenbarung den Vorteil, dass technisch einfache Kryopumpen verwendet werden können, da die Kryopumpen nicht notwendigerweise in direktem Kontakt zu flüssigem Wasserstoff angeordnet und/oder betrieben werden müssen. Dadurch können die Kosten für die Bereitstellung, den Betrieb und/oder die Wartung der Wasserstofftankanlage gering gehalten werden. Somit können unter Verwendung robuster einfacher Kryopumpen (z.B. kryogene Hubkolbenpumpen) sehr hohe Wasserstoff-Betankungsdichten erreicht werden, ohne konstruktiv sehr komplexe, wartungsaufwändige und teure Kryopumpen nutzen zu müssen.

[0022] Das Verfahren kann ferner ein Ausgeben des Ausgangsstroms von kryogenem Wasserstoff aus der Ausgabeleitung in Form von flüssigem Wasserstoff oder kryo-komprimiertem Wasserstoff umfassen. Das Ausgeben kann optional über eine Zapfsäule erfolgen. Der ausgegebene Wasserstoff kann optional in einem Wasserstofftank eines Verbrauchers, etwa eines Kraftfahrzeugs, oder von einem weiteren Speichertank aufgenommen werden.

[0023] Das Ausgeben des Ausgangsstroms kann ein Ausgeben des kryogenen Wasserstoffs mit einer Dichte des kryogenen Wasserstoffs von mindestens 75 kg/m^3 , optional sogar 80 kg/m^3 erfolgen. Dies kann insbesondere dadurch ermöglicht werden, dass das Kryopumpensystem und/oder der der Ausgangsstrom und/oder die Ausgabeleitung und/oder optional weitere Komponenten der Wasserstofftankstelle, mit denen der kryogene Wasserstoff in thermischen Kontakt gelangt, gekühlt werden. Das Ausgeben des Ausgangsstroms mit einer derart hohen Dichte kann das Betanken von solchen Speichertanks und/oder Verbrauchern ermöglichen, welche eine besonders hohe Dichte des Wasserstoffs für die Speicherung erfordern, etwa Nutzfahrzeuge mit einer hohen Reichweite. Außerdem kann dadurch optional der Tankvorgang zeitlich verkürzt werden gegenüber einer Ausgabe mit geringeren Dichten.

[0024] Das Verfahren kann ferner ein Regeln und/oder Steuern des Entnehmens des zweiten kryogenen Stroms von kryogenem Wasserstoff aus dem Flüssigwasserstofftank umfassen. Dabei kann das Regeln und/oder Steuern unter Verwendung eines Drucks und/oder einer Temperatur und/oder eines Massestroms des Ausgangsstroms von kryogenem Wasserstoff erfolgen. Dies kann ein präzises Einstellen der gewünschten Temperatur und/oder Dichte des im Tankvorgang abgegebenen Wasserstoffs ermöglichen. Somit kann dies den Vorteil bieten, dass der Tankvorgang bei vorbestimmten Konditionen erfolgt und entsprechend standardisierbar ist. Optional kann dies dazu dienen, eine Temperatur und/oder Dichte des Ausgangsstroms von Wasserstoff zwischen den Tankvorgängen und/oder während eines Tankvorgangs zu variieren. Dadurch kann eine große Flexibilität hinsichtlich der zu betankenden Abnehmer erzielt werden.

[0025] Bei der Regelung können Regelventile angesteuert werden, um eine möglichst optimierte Betankung mit hohen Massenströme und hoher Betankungsdichte sowie optional unter konstantem Druck im Flüssigwasserstofftank zu ermöglichen. Dabei kann neben dem Druck im Flüssigwasserstofftank optional auch eine Temperatur des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems geregelt werden. Dadurch können niedrigere Austrittstemperaturen an der Kryopumpe sowie höhere Betankungsdichten ermöglicht werden als dies herkömmlicherweise möglich ist.

[0026] Das Kühlen des Kryopumpensystems und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems und/oder der Ausgabeleitung mittels des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff kann ein Zuführen des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff in einen Wärmetauscher des Kryopumpensystems umfassen, sodass der zweite Strom von kryogenem Wasserstoff Wärme des Kryopumpensystems aufnimmt. Dies kann eine effiziente Abfuhr von Wärme mittels des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff ermöglichen. Optional kann dies den Vorteil bieten, dass bei der Aufnahme der Wärme durch den zweiten Strom von kryogenem Wasserstoff dieser verdampfen kann, ohne dabei an die Umgebung verloren zu gehen. Vielmehr kann der Wasserstoff auch in diesem Fall in einem Leitungssystem des Wärmetauschers und/oder in der Rückführleitung gehalten werden. Der zweite Strom von Wasserstoff kann nach dem Kühlen des Kryopumpensystems und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems und/oder der Ausgabeleitung teilweise oder vollständig in Gasform vorliegen. Mit anderen Worten ausgedrückt kann der zweite Strom von kryogenem Wasserstoff beim Kühlen verdampfen.

[0027] Das Entnehmen des zweiten kryogenen Stroms von Wasserstoff und/oder das Kühlen des Kryopumpensystems und/oder eines Ausgangsstroms des Kryopumpensystems und/oder der Ausgabeleitung mittels des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff kann dabei während eines Betankungsvorgangs, also zeitgleich oder mit zeitlichem Überlapp erfolgen, und/o-

der zwischen aufeinanderfolgenden Tankvorgängen. Dies kann die Möglichkeit bieten, die Wasserstoffanlage auch während eines Stand-by Betriebs, wenn gerade kein Tankvorgang erfolgt, gekühlt zu halten, um das Erfordernis für eine etwaige Vorlaufzeit vor dem nächsten Tankvorgang zu reduzieren oder zu minimieren.

[0028] Der Wärmetauscher kann als Verdampfer-Wärmetauscher ausgebildet sein. Dies kann den Vorteil bieten, dass der Wärmetauscher ein besonders hohes Maß an Wärme auf den zweiten Strom von kryogenem Wasserstoff übertragen kann.

[0029] Das zumindest teilweise Zurückführen des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwassertank kann ein direktes Einleiten zumindest eines Teils des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwassertank umfassen. Dies bedeutet, dass der zurückgeführte Wasserstoff ohne weitere Konditionierung wieder in den Flüssigwassertank eingeleitet werden kann. Dies kann den Vorteil bieten, dass der dem Tank zugeführte, aufgewärmte Wasserstoff, welcher flüssig und/oder gasförmig vorliegen kann, zur Steigerung und/oder Aufrechterhaltung des Drucks im Flüssigwassertank dienen kann. Alternativ oder zusätzlich kann das zumindest teilweise Zurückführen des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwassertank ein indirektes Einleiten zumindest eines Teils des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwassertank über einen Druckaufbauwärmetauscher umfassen. Dies kann den Vorteil bieten, dass der Wasserstoff zunächst in geeigneter Weise konditioniert werden kann und entsprechend eine Wärmezufuhr in den Flüssigwassertank kontrolliert werden kann. Im Druckaufbauwärmetauscher wird der Wasserstoff vor dem Einleiten in den Flüssigwassertank optional mittels Umgebungsluft aufgewärmt.

[0030] Optional kann zumindest ein Teil des zweiten Stroms von Wasserstoff nach dem Kühlen an einen Verbraucher abgegeben werden. Optional kann dazu der zweite Strom von Wasserstoff dem Ausgabestrom beigemischt werden. Alternativ oder zusätzlich kann zumindest ein Teil des zweiten Stroms von Wasserstoff nach dem Kühlen einem weiteren Verwendungszweck zugeführt werden. Optional kann dabei zumindest ein Teil des zweiten Stroms von Wasserstoff nach dem Kühlen dazu verwendet werden, andere Gegenstände zu kühlen. Optional kann dabei zumindest ein Teil des zweiten Stroms von Wasserstoff nach dem Kühlen dazu verwendet werden, in Form von gasförmigem Wasserstoff unter hohem Druck, etwa mit einem Druck von 350 bar oder 700 bar, an einen Verbraucher abgegeben zu werden.

[0031] Optional kann der zweite Strom von kryogenem Wasserstoff auch dazu verwendet werden, um in konventionellen Wasserstoff-Tankanlagen für komprimierten gasförmigen Wasserstoff CGH₂ (H35 / H70 Tankstellen) Wasserstoffgas auf eine Temperatur von bis zu -40°C abzukühlen.

[0032] Der über die Kühlleitung aus dem Flüssigwas-

serstofftank entnommene zweite kryogene Strom von kryogenem Wasserstoff kann flüssigen Wasserstoff umfassen. Alternativ oder zusätzlich kann der über die Kühlleitung aus dem Flüssigwassertank entnommene zweite kryogene Strom von kryogenem Wasserstoff gasförmigen Wasserstoff umfassen, welcher im Flüssigwassertank verdampft ist. Dies bietet eine große Flexibilität hinsichtlich des Kühlpotenzials des entnommenen Wasserstoffs.

[0033] Außerdem kann das Verfahren ein Zwischenspeichern zumindest eines Teils des ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff in einem Pufferspeicher zwischen dem Kryopumpensystem und der Ausgabeleitung umfassen. Dies kann den Vorteil bieten, dass etwaige Fluktuationen des Ausgangsstroms hinsichtlich dessen Temperatur und/oder Dichte und/oder Massenstroms reduziert oder vermieden werden können. Der Pufferspeicher kann als Hochdruck-Pufferspeicher, optional als hochfester Kryo-Druckbehälter, ausgebildet sein oder einen oder mehrere solcher umfassen. Der Pufferspeicher kann in das Kryopumpensystem und/oder die Ausgabeleitung integriert sein. Optional kann der zweite Strom von kryogenem Wasserstoff auch dazu verwendet werden, den Pufferspeicher zu kühlen. Optional können ein oder mehrere weitere Wärmetauscher in den Pufferspeicher integriert sein.

[0034] Das Kryopumpensystem und der Wärmetauscher können gemeinsam gegenüber der Umgebung zumindest teilweise thermisch isoliert sind. Optional können das Kryopumpensystem und der Wärmetauscher gemeinsam in einer Coldbox integriert sein. Dies kann eine gute Wärmeübertragung von dem Kryopumpensystem auf den Wärmetauscher ermöglichen und dennoch das Kryopumpensystem und den Wärmetauscher weitgehend von der Umgebung thermisch isolieren.

[0035] Im Folgenden optionalen und nicht-limitierenden Beispiel wird beispielhaft gerechnet, dass bei einer Verdichtung von Wasserstoff von 3,5 bar auf 400 bar in einer Kryopumpe, die Temperatur-Absenkung durch die regelungstechnische optimierte integrierte Kühlung des Austrittsstroms aus der Kryopumpe ca. 4 K betragen kann. Dabei kann die Dichte von Wasserstoff am Austritt der Kryopumpe um ca. 2% erhöht werden gegenüber einer Konfiguration nach Stand der Technik.

[0036] Es erfolgt eine Kompression des Wasserstoffs durch das Kryopumpensystem von 3,5 bar auf 400 bar. Daraus resultiert eine Dichtesteigerung von 2% bei 400 bar kryokomprimiertem Wasserstoff, d. h. eine Dichte von 82,5 kg/m³ gegenüber 80,8 kg/m³. Die Temperatur nimmt dabei bei 400 bar um 3,5 K ab von 47,2 K auf 43,7 K. Die Wärmeübertragungsleistung des Wärmetauschers beträgt dabei 5,1 kW, wobei die Kälterückgewinnung durch den zurückgeführten Wasserstoff nicht mit berücksichtigt ist.

[0037] Die oben genannten und im Folgenden erläuterten Merkmale und Ausführungsformen sind dabei nicht nur als in den jeweils explizit genannten Kombinationen offenbart anzusehen, sondern sind auch in ande-

ren technisch sinnhaften Kombinationen und Ausführungsformen vom Offenbarungsgehalt umfasst.

[0038] Weitere Einzelheiten und Vorteile sollen nun anhand der folgenden Beispiele und optionalen Ausführungsformen mit Bezug auf die Figuren näher erläutert werden.

[0039] Es zeigen:

Fig. 1 eine Wasserstofftankanlage zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff gemäß einer optionalen Ausführungsform;

Fig. 2 ein Verfahren gemäß einer optionalen Ausführungsform zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff aus einer Wasserstofftankanlage;

Fig. 3 eine Ausgabeleitung gemäß einer optionalen Ausführungsform, welche sich vom Kryopumpensystem bis zu einer Zapfsäule erstreckt.

[0040] In den folgenden Figuren werden gleiche oder ähnliche Elemente in den verschiedenen Ausführungsformen der Einfachheit halber mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet.

[0041] Figur 1 zeigt in einer schematischen Darstellung eine Wasserstofftankanlage 10 zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff gemäß einer optionalen Ausführungsform. Die Wasserstofftankanlage 10 umfasst einen Flüssigwasserstofftank 12, eine Ausgabeleitung 14 zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff, und ein Kryopumpensystem 16 zur Förderung eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff über eine Förderleitung 18 aus dem Flüssigwasserstofftank 12 zur Ausgabeleitung 14.

[0042] Die Wasserstofftankanlage 10 umfasst ferner einen Wärmetauscher 20 zum Kühlen des Kryopumpensystems 16 und/oder eines Ausgangsstroms des Kryopumpensystems 16 und/oder der Ausgabeleitung 14 mittels eines über eine Kühlleitung 22 aus dem Flüssigwasserstofftank 12 entnommenen zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff.

[0043] Zudem weist die Wasserstofftankanlage 10 eine Rückführleitung 24 zum zumindest teilweisen Zurückführen des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank 12 nach dem Kühlen des Kryopumpensystems 16 und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems 16 und/oder der Ausgabeleitung 14 auf.

[0044] Das Kryopumpensystem 16 und der Wärmetauscher 20 können dabei gemeinsam gegenüber der Umgebung zumindest teilweise thermisch isoliert sein. Der Wärmetauscher 20 kann als Verdampfer-Wärmetauscher ausgebildet sein.

[0045] Optional kann der Wärmetauscher 20 einen Teil des Kryopumpensystems 16 bilden. Dabei kann das Kryopumpensystem 16 zur Förderung eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff von dem Flüssigwasserstofftank 12 zu der Ausgabeleitung 14 ausgebildet sein. Das Kryopumpensystem 16 kann einen Fördergang 26 für eine Zuleitung des ersten Stroms von

kryogenem Wasserstoff aus dem Flüssigwasserstofftank 12 und einen Förderausgang 28 für eine Förderung des ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff in die Ausgabeleitung 14 umfassen. Außerdem kann das Kryopumpensystem 16 den Wärmetauscher 20 mit einem Kühleingang 30 und einem Kühlausgang 32 umfassen, wobei der Wärmetauscher 20 dazu ausgestaltet ist, mittels eines über den Kühleingang 30 zugeführten zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff aus dem Flüssigwasserstofftank 12 Wärme des Kryopumpensystems 16 über den Kühlausgang 32 in den Flüssigwasserstofftank 12 abzuführen.

[0046] Das Zurückführen des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank 12 nach dem Kühlen des Kryopumpensystems 16 kann optional direkt erfolgen oder über einen Druckaufbauwärmetauscher 34.

[0047] Optional kann die Wasserstofftankanlage einen Pufferspeicher 36 aufweisen. Dieser kann zwischen dem Kryopumpensystem 16 und der Ausgabeleitung 14 angeordnet sein. Dabei kann der Ausgangsstrom des Kryopumpensystems 16 zunächst im Pufferspeicher 36 zwischengespeichert werden, sodass die Ausgabe von Wasserstoff an einen Verbraucher sodann aus dem Pufferspeicher 36 erfolgt.

[0048] Anhand Figur 2 wird im Folgenden ein Verfahren 200 gemäß einer optionalen Ausführungsform zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff aus einer Wasserstofftankanlage 10 mit einem Flüssigwasserstofftank 12, einem Kryopumpensystem 16 und einer Ausgabeleitung 14 beschrieben. Das Verfahren kann sich optional einer Wasserstofftankanlage gemäß Figur 1 bedienen.

[0049] Das Verfahren 200 umfasst in einem Schritt 202 ein Fördern eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff über eine Förderleitung 18 mittels des Kryopumpensystems 16 aus dem Flüssigwasserstofftank 12 zur der Ausgabeleitung 14.

[0050] Das Verfahren 200 umfasst zudem in einem Schritt 204 ein Entnehmen eines zweiten kryogenen Stroms von kryogenem Wasserstoff über eine Kühlleitung 22 aus dem Flüssigwasserstofftank 12.

[0051] In einem Schritt 206 umfasst das Verfahren 200 ein Kühlen des Kryopumpensystems 16 und/oder eines Ausgangsstroms des Kryopumpensystems 16 und/oder der Ausgabeleitung 14 mittels des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff. Das Kühlen 206 des Kryopumpensystems 16 und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems 16 und/oder der Ausgabeleitung 14 mittels des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff kann ein Zuführen des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff in einen Wärmetauscher 20 des Kryopumpensystems 16 umfassen, sodass der zweite Strom von kryogenem Wasserstoff Wärme des Kryopumpensystems 16 aufnimmt.

[0052] In einem Schritt 208 umfasst das Verfahren 200 ein zumindest teilweises Zurückführen des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank 12 nach dem Kühlen des Kryopumpensystems 16 un-

d/oder des Ausgangsströms des Kryopumpensystems 16 und/oder der Ausgabeleitung 14. Das zumindest teilweise Zurückführen 208 des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwassertank 12 kann ein direktes Einleiten zumindest eines Teils des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwassertank 12 und/oder ein indirektes Einleiten zumindest eines Teils des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwassertank 12 über einen Druckaufbauwärmetauscher 34 umfassen.

[0053] Optional umfasst das Verfahren ferner in einem Schritt 210 ein Ausgeben des Ausgangsströms von kryogenem Wasserstoff aus der Ausgabeleitung 14 in Form von flüssigem Wasserstoff oder kryokomprimiertem Wasserstoff. Das Ausgeben des Ausgangsströms kann ein Ausgeben des kryogenen Wasserstoffs mit einer Dichte von mindestens 75 kg/m³ umfassen.

[0054] Ferner kann das Verfahren in einem Schritt 212 ein Regeln und/oder Steuern des Entnehmens des zweiten kryogenen Stroms von kryogenem Wasserstoff aus dem Flüssigwassertank 12 umfassen, wobei das Regeln 212 und/oder Steuern unter Verwendung eines Drucks und/oder einer Temperatur und/oder eines Massstroms des Ausgangsströms von kryogenem Wasserstoff erfolgen kann. Die Wasserstoffanlage kann dafür geeignete Sensoren und/oder Stellelemente aufweisen.

[0055] Der über die Kühlleitung 22 aus dem Flüssigwassertank 12 entnommene zweite Strom von kryogenem Wasserstoff kann flüssigen Wasserstoff umfassen. Der über die Kühlleitung 22 aus dem Flüssigwassertank entnommene zweite kryogene Strom von kryogenem Wasserstoff kann alternativ oder zusätzlich gasförmigen Wasserstoff umfassen, welcher im Flüssigwassertank 12 verdampft ist. Dazu können optional mehrere Kühlleitungen 22 bereitgestellt werden.

[0056] Das Verfahren 200 kann ferner in einem Schritt 214 ein Zwischenspeichern zumindest eines Teils des ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff in einem Pufferspeicher 36 zwischen dem Kryopumpensystem 16 und der Ausgabeleitung 14 umfassen.

[0057] Der zweite Strom von Wasserstoff kann nach dem Kühlen des Kryopumpensystems 16 und/oder des Ausgangsströms des Kryopumpensystems 16 und/oder der Ausgabeleitung teilweise oder vollständig in Gasform vorliegen.

[0058] In einer weiteren optionalen Ausführung wird der zweite Strom von kryogenem Wasserstoff auch dazu verwendet die Prozessleitungen, insbesondere die Ausgabeleitung, und Komponenten stromabwärts des Kryopumpensystem 16 bis zur Zapfsäule (Betankungsschnittstelle zum Fahrzeug) während der Betankung sowie im Stand-by (keine Betankung) kalt zu halten. Dies ermöglicht hohe Betankungsdichten und/oder minimierte Verdampfungsverluste.

[0059] Figur 3 zeigt beispielhaft eine Ausgabeleitung 14, welche sich vom Kryopumpensystem 16 bis zu einer Zapfsäule 38 erstreckt und mit einer Durchflussleitung 40

für den zweiten Strom von kryogenem Wasserstoff zusammen thermisch isoliert verläuft, um die Ausgabeleitung während eines Tankvorgangs und/oder im Stand-by Betrieb zu kühlen. Dabei kann der erwärmte kryogene Wasserstoff durch eine oder mehrere Bypass Leitungen innerhalb der Hauptprozessleitung (z. B. Betankungsschlauch) zurückgeleitet werden.

Bezugszeichenliste

[0060]

10	Wasserstoffanlage
12	Flüssigwassertank
14	Ausgabeleitung
16	Kryopumpensystem
18	Förderleitung
20	Wärmetauscher
22	Kühlleitung
24	Rückführleitung
26	Fördereingang
28	Förderausgang
30	Kühleingang
32	Kühlausgang
34	Druckaufbauwärmetauscher
36	Pufferspeicher
38	Zapfsäule
40	Durchflussleitung

200 zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff aus einer Wasserstoffanlage

202 - 214 Verfahrensschritte

Patentansprüche

1. Verfahren (200) zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff aus einer Wasserstoffanlage (10) mit einem Flüssigwassertank (12), einem Kryopumpensystem (16) und einer Ausgabeleitung (14), das Verfahren (200) umfassend:

- Fördern (202) eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff über eine Förderleitung (18) mittels des Kryopumpensystems (16) aus dem Flüssigwassertank (12) zur der Ausgabeleitung (14);

dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren (200) ferner umfasst:

- Entnehmen (204) eines zweiten kryogenen Stroms von kryogenem Wasserstoff über eine Kühlleitung (22) aus dem Flüssigwassertank (12);
 - Kühlen (206) des Kryopumpensystems (16) und/oder eines Ausgangsströms des Kryopumpensystems (16) und/oder der Ausgabeleitung

- (14) mittels des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff; und
 - zumindest teilweises Zurückführen (208) des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank (12) nach dem Kühlen (206) des Kryopumpensystems (16) und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems (16) und/oder der Ausgabelleitung (14).
2. Verfahren (200) gemäß Anspruch 1, ferner umfassend
 - Ausgeben (210) des Ausgangsstroms von kryogenem Wasserstoff aus der Ausgabelleitung (14) in Form von flüssigem Wasserstoff oder kryokomprimiertem Wasserstoff.
3. Verfahren (200) gemäß Anspruch 2, wobei das Ausgeben (210) des Ausgangsstroms ein Ausgeben des kryogenen Wasserstoffs mit einer Dichte des kryogenen Wasserstoffs von mindestens 75 kg/m^3 erfolgt.
4. Verfahren (200) gemäß einem der Ansprüche 2 und 3, umfassend ein Regeln (212) und/oder Steuern des Entnehmens des zweiten kryogenen Stroms von kryogenem Wasserstoff aus dem Flüssigwasserstofftank (12), wobei das Regeln (212) und/oder Steuern unter Verwendung eines Drucks und/oder einer Temperatur und/oder eines Massestroms des Ausgangsstroms von kryogenem Wasserstoff erfolgt.
5. Verfahren (200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Kühlen (206) des Kryopumpensystems (16) und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems (16) und/oder der Ausgabelleitung (14) mittels des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff ein Zuführen des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff in einen Wärmetauscher (20) des Kryopumpensystems (16) umfasst, sodass der zweite Strom von kryogenem Wasserstoff Wärme des Kryopumpensystems (16) aufnimmt.
6. Verfahren (200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das zumindest teilweise Zurückführen (208) des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank (12) ein direktes Einleiten zumindest eines Teils des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank (12) und/oder ein indirektes Einleiten zumindest eines Teils des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank (12) über einen Druckaufbauwärmetauscher (34) umfasst.
7. Verfahren (200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der über die Kühlleitung (22) aus dem Flüssigwasserstofftank (12) entnommene zweite kryogene Strom von kryogenem Wasserstoff flüssigen Wasserstoff umfasst.
8. Verfahren (200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der über die Kühlleitung (22) aus dem Flüssigwasserstofftank (12) entnommene zweite kryogene Strom von kryogenem Wasserstoff gasförmigen Wasserstoff umfasst, welcher im Flüssigwasserstofftank (12) verdampft ist.
9. Verfahren (200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend:
 - Zwischenspeichern (214) zumindest eines Teils des ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff in einem Pufferspeicher (36) zwischen dem Kryopumpensystem (16) und der Ausgabelleitung (14).
10. Verfahren (200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zweite Strom von Wasserstoff nach dem Kühlen (206) des Kryopumpensystems (16) und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems (16) und/oder der Ausgabelleitung (14) teilweise oder vollständig in Gasform vorliegt.
11. Wasserstofftankanlage (10) zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff, die Wasserstofftankanlage (10) umfassend:
 - einen Flüssigwasserstofftank (12);
 - eine Ausgabelleitung (14) zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff; und
 - ein Kryopumpensystem (16) zur Förderung eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff über eine Förderleitung (18) aus dem Flüssigwasserstofftank (12) zur Ausgabelleitung (14);
dadurch gekennzeichnet, dass die Wasserstofftankanlage (10) ferner umfasst:
 - einen Wärmetauscher (20) zum Kühlen des Kryopumpensystems (16) und/oder eines Ausgangsstroms des Kryopumpensystems (16) und/oder der Ausgabelleitung (14) mittels eines über eine Kühlleitung (22) aus dem Flüssigwasserstofftank (12) entnommenen zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff; und
 - eine Rückführleitung (24) zum zumindest teilweisen Zurückführen des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank (12) nach dem Kühlen des Kryopumpensystems (16) und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems (16) und/oder der Ausgabelleitung (14).

12. Wasserstofftankanlage (10) gemäß Anspruch 11, wobei das Kryopumpensystem (16) und der Wärmetauscher (20) gemeinsam gegenüber der Umgebung zumindest teilweise thermisch isoliert sind.

13. Wasserstofftankanlage (10) gemäß Anspruch 11 oder 12, wobei der Wärmetauscher (20) als Verdampfer-Wärmetauscher ausgebildet ist.

14. Kryopumpensystem (16) zur Förderung eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff von einem Flüssigwasserstofftank (12) zu einer Ausgabeleitung (14), das Kryopumpensystem (16) umfassend:

- einen Fördereingang (26) für eine Zuleitung des ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff aus dem Flüssigwasserstofftank (12);
- einen Förderausgang (28) für eine Förderung des ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff in die Ausgabeleitung (14);
- einen Wärmetauscher (20) mit einem Kühleingang (30) und einem Kühlausgang (32), wobei der Wärmetauscher (20) dazu ausgestaltet ist, mittels eines über den Kühleingang (30) zugeführten zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff aus dem Flüssigwasserstofftank (12) Wärme des Kryopumpensystems (16) über den Kühlausgang (32) in den Flüssigwasserstofftank (12) abzuführen.

15. Verwendung eines Wärmetauschers (20) zur Abführung von Wärme eines Kryopumpensystems (16) zur Förderung eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff aus einem Flüssigwasserstofftank (12) mittels eines zweiten Stroms von aus dem Flüssigwasserstofftank (12) entnommenem und in den Flüssigwasserstofftank (12) zurückgeführtem kryogenem Wasserstoff.

Geänderte Patentansprüche gemäß Regel 137(2) EPÜ.

1. Verfahren (200) zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff aus einer Wasserstofftankanlage (10) mit einem Flüssigwasserstofftank (12), einem Kryopumpensystem (16) und einer Ausgabeleitung (14), das Verfahren (200) umfassend:

- Fördern (202) eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff über eine Förderleitung (18) mittels des Kryopumpensystems (16) aus dem Flüssigwasserstofftank (12) zur der Ausgabeleitung (14);

dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren (200) ferner umfasst:

- Entnehmen (204) eines zweiten kryogenen

Stroms von kryogenem Wasserstoff über eine Kühlleitung (22) aus dem Flüssigwasserstofftank (12);

- Kühlen (206) des Kryopumpensystems (16) und/oder eines Ausgangsstroms des Kryopumpensystems (16) und/oder der Ausgabeleitung (14) mittels des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff; und

- zumindest teilweises Zurückführen (208) des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank (12) nach dem Kühlen (206) des Kryopumpensystems (16) und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems (16) und/oder der Ausgabeleitung (14).

2. Verfahren (200) gemäß Anspruch 1, ferner umfassend

- Ausgeben (210) des Ausgangsstroms von kryogenem Wasserstoff aus der Ausgabeleitung (14) in Form von flüssigem Wasserstoff oder kryokomprimiertem Wasserstoff.

3. Verfahren (200) gemäß Anspruch 2, wobei das Ausgeben (210) des Ausgangsstroms ein Ausgeben des kryogenen Wasserstoffs mit einer Dichte des kryogenen Wasserstoffs von mindestens 75 kg/m³ erfolgt.

4. Verfahren (200) gemäß einem der Ansprüche 2 und 3, umfassend ein Regeln (212) und/oder Steuern des Entnehmens des zweiten kryogenen Stroms von kryogenem Wasserstoff aus dem Flüssigwasserstofftank (12), wobei das Regeln (212) und/oder Steuern unter Verwendung eines Drucks und/oder einer Temperatur und/oder eines Massestroms des Ausgangsstroms von kryogenem Wasserstoff erfolgt.

5. Verfahren (200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Kühlen (206) des Kryopumpensystems (16) und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems (16) und/oder der Ausgabeleitung (14) mittels des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff ein Zuführen des zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff in einen Wärmetauscher (20) des Kryopumpensystems (16) umfasst, sodass der zweite Strom von kryogenem Wasserstoff Wärme des Kryopumpensystems (16) aufnimmt.

6. Verfahren (200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das zumindest teilweise Zurückführen (208) des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank (12) ein direktes Einleiten zumindest eines Teils des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank (12) und/oder ein indirektes Einleiten zumindest eines Teils

des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank (12) über einen Druckaufbauwärmetauscher (34) umfasst.

7. Verfahren (200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der über die Kühlleitung (22) aus dem Flüssigwasserstofftank (12) entnommene zweite kryogene Strom von kryogenem Wasserstoff flüssigen Wasserstoff umfasst. 5
8. Verfahren (200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der über die Kühlleitung (22) aus dem Flüssigwasserstofftank (12) entnommene zweite kryogene Strom von kryogenem Wasserstoff gasförmigen Wasserstoff umfasst, welcher im Flüssigwasserstofftank (12) verdampft ist. 10
9. Verfahren (200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend: 15
 - Zwischenspeichern (214) zumindest eines Teils des ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff in einem Pufferspeicher (36) zwischen dem Kryopumpensystem (16) und der Ausgabeleitung (14). 20 25
10. Verfahren (200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zweite Strom von Wasserstoff nach dem Kühlen (206) des Kryopumpensystems (16) und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems (16) und/oder der Ausgabeleitung (14) teilweise oder vollständig in Gasform vorliegt. 30
11. Wasserstofftankanlage (10) zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff, die Wasserstofftankanlage (10) umfassend: 35
 - einen Flüssigwasserstofftank (12);
 - eine Ausgabeleitung (14) zur Ausgabe von kryogenem Wasserstoff; und 40
 - ein Kryopumpensystem (16) zur Förderung eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff über eine Förderleitung (18) aus dem Flüssigwasserstofftank (12) zur Ausgabeleitung (14); 45

dadurch gekennzeichnet, dass die Wasserstofftankanlage (10) ferner umfasst:

 - einen Wärmetauscher (20) zum Kühlen des Kryopumpensystems (16) und/oder eines Ausgangsstroms des Kryopumpensystems (16) und/oder der Ausgabeleitung (14) mittels eines über eine Kühlleitung (22) aus dem Flüssigwasserstofftank (12) entnommenen zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff; und 50
 - eine Rückführleitung (24) zum zumindest teilweisen Zurückführen des zweiten Stroms von 55

Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank (12) nach dem Kühlen des Kryopumpensystems (16) und/oder des Ausgangsstroms des Kryopumpensystems (16) und/oder der Ausgabeleitung (14).

12. Wasserstofftankanlage (10) gemäß Anspruch 11, wobei das Kryopumpensystem (16) und der Wärmetauscher (20) gemeinsam gegenüber der Umgebung zumindest teilweise thermisch isoliert sind.
13. Wasserstofftankanlage (10) gemäß Anspruch 11 oder 12, wobei der Wärmetauscher (20) als Verdampfer-Wärmetauscher ausgebildet ist.
14. Kryopumpensystem (16) zur Förderung eines ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff von einem Flüssigwasserstofftank (12) zu einer Ausgabeleitung (14), das Kryopumpensystem (16) umfassend:
 - eine Pumpe;
 - eine an den Flüssigwasserstofftank (12) anschließbare Förderleitung und einen an der Förderleitung anschließbaren Fördereingang (26) für eine Zuleitung des ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff aus dem Flüssigwasserstofftank (12);
 - eine Ausgabeleitung (14) zur Ausgabe des ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff und einen an die Ausgabeleitung (14) anschließbaren Förderausgang (28) für eine Förderung des ersten Stroms von kryogenem Wasserstoff in die Ausgabeleitung (14);
 - eine an den Flüssigwasserstofftank (12) anschließbare Kühlleitung (22) zur Entnahme eines zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff aus dem Flüssigwasserstofftank (12);
 - eine an den Flüssigwasserstofftank (12) anschließbare Rückführleitung (24) zum zumindest teilweisen Zurückführen des zweiten Stroms von Wasserstoff in den Flüssigwasserstofftank (12); und
 - einen Wärmetauscher (20) mit einem mit der Kühlleitung (22) verbundenen Kühleingang (30) und einem mit der Rückführleitung (24) verbundenen Kühlausgang (32),

wobei das Kryopumpensystem dazu ausgestaltet ist, mittels des über den Kühleingang (30) zugeführten zweiten Stroms von kryogenem Wasserstoff aus dem Flüssigwasserstofftank (12) nach einem Kühlen des Kryopumpensystems (16) mittels des zweiten Stroms von Wasserstoff (12) Wärme des Kryopumpensystems (16) über den Kühlausgang (32) und die Rückführleitung (24) in den Flüssigwasserstofftank (12) abzuführen.
15. Verwendung eines Wärmetauschers (20) zur Abfüh-

5
 rung von Wärme eines Krypumpensystems (16)
 zur Förderung eines ersten Stroms von kryogenem
 Wasserstoff aus einem Flüssigwasserstofftank (12)
 mittels eines zweiten Stroms von aus dem Flüssig-
 wasserstofftank (12) entnommenem und in den
 Flüssigwasserstofftank (12) zurückgeführten kryo-
 genem Wasserstoff.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

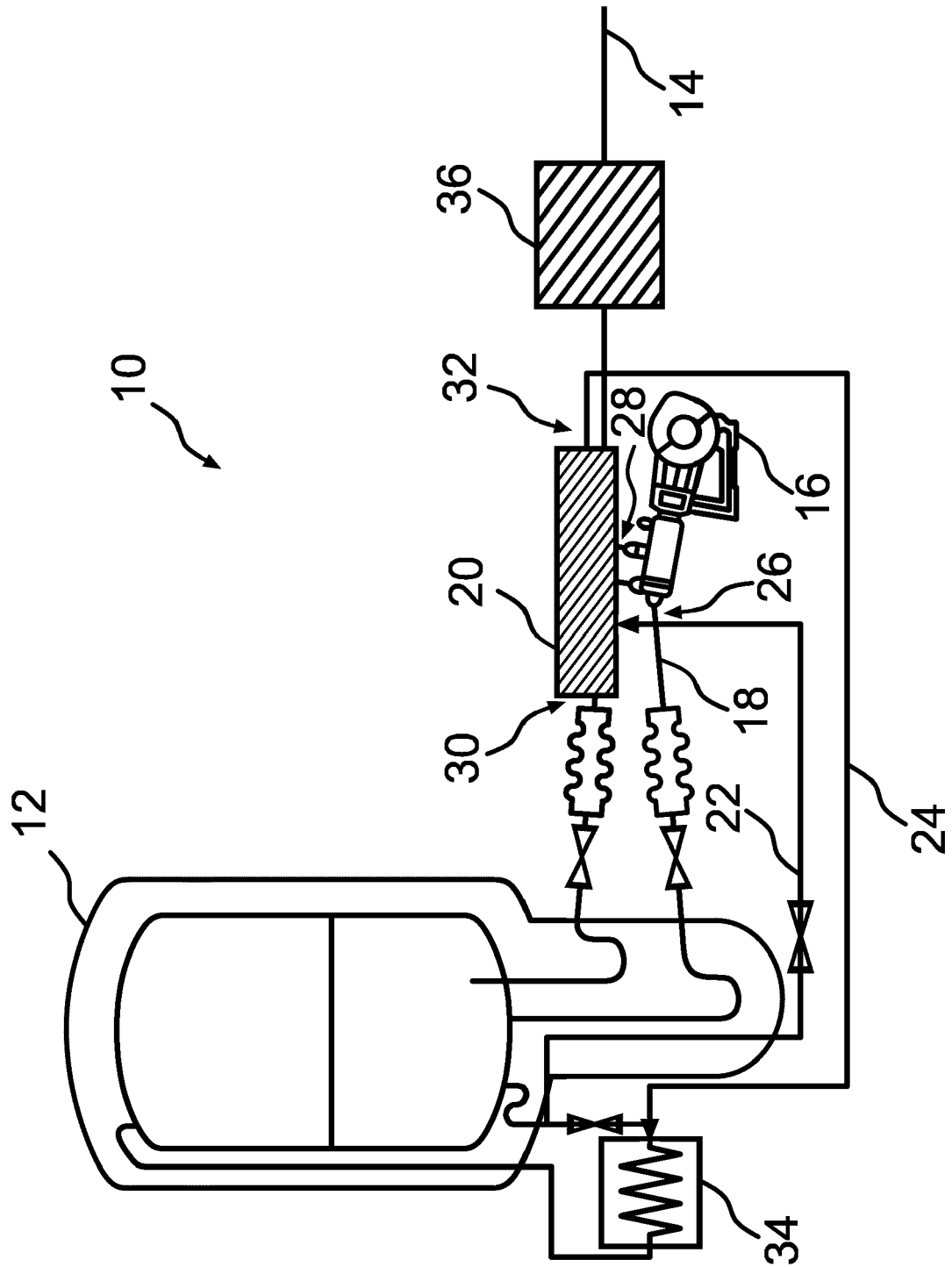


Fig. 1

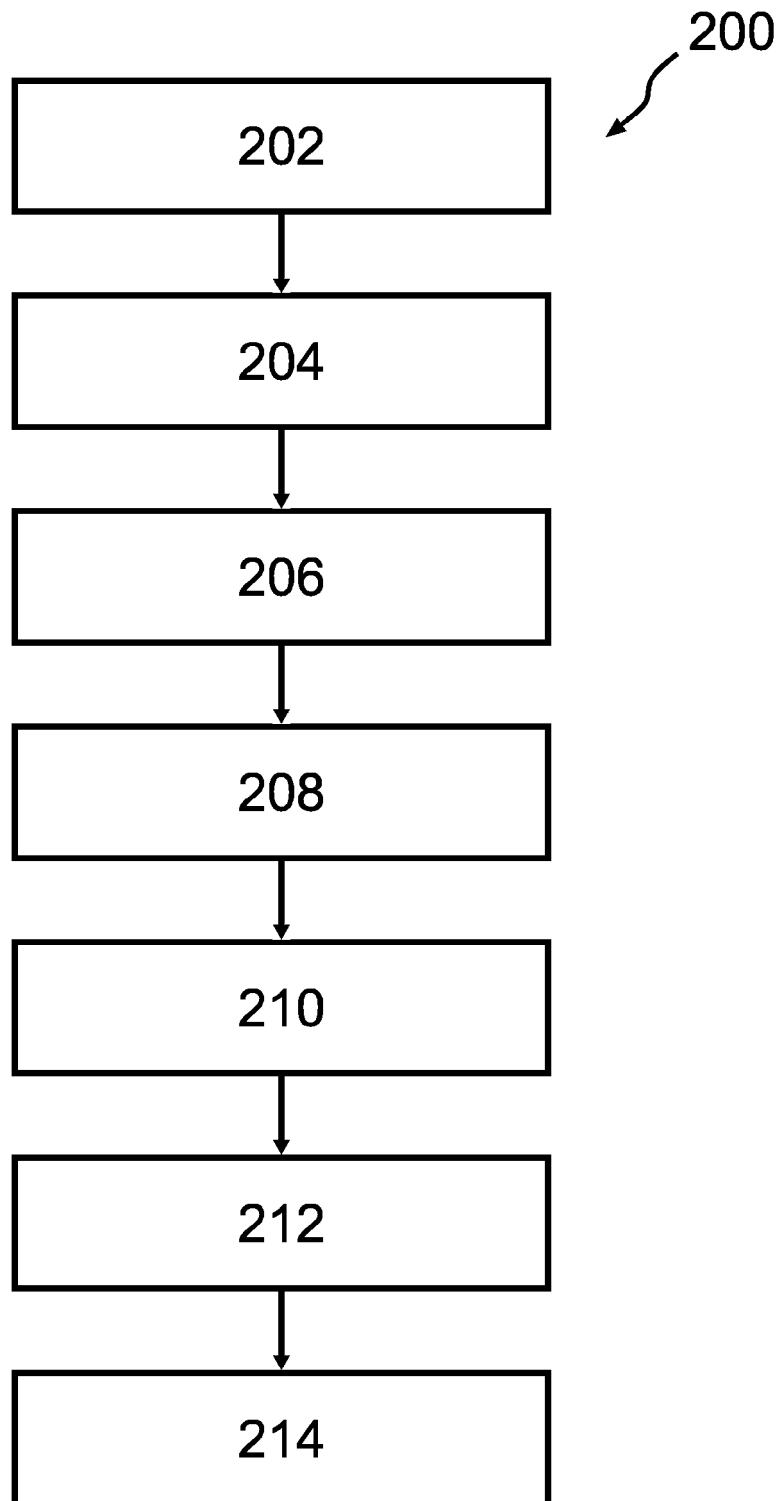


Fig. 2

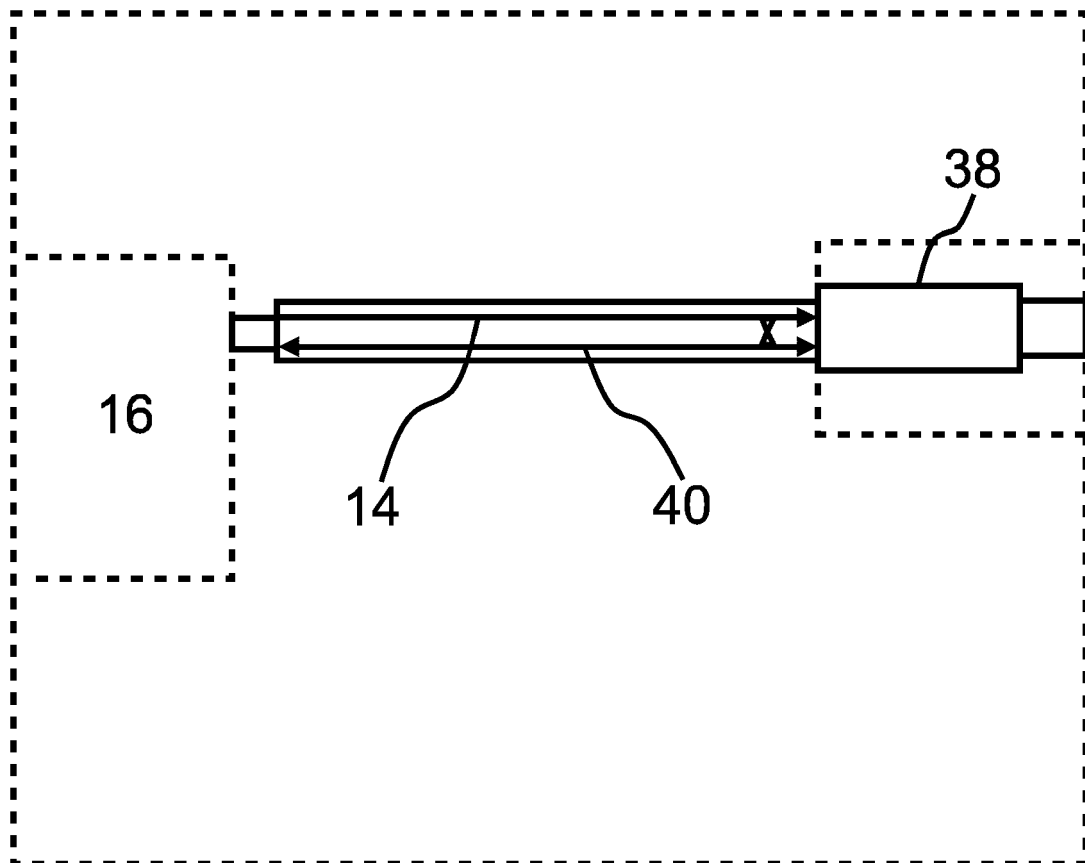


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 18 4888

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2009 039645 A1 (LINDE AG [DE]) 10. März 2011 (2011-03-10)	14	INV. F17C5/04
A	* Absatz [0001]; Abbildung 3 *	1-13, 15	
X	DE 10 2007 057979 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 4. Juni 2009 (2009-06-04)	14	
A	* Absatz [0001]; Abbildung 1 *	1-13, 15	
A	US 2022/090739 A1 (STAGER JERAD ALLEN [US] ET AL) 24. März 2022 (2022-03-24)	1-15	
A	FR 3 006 742 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 12. Dezember 2014 (2014-12-12)	1-15	
A	US 2008/008602 A1 (POZIVIL JOSEF [CH] ET AL) 10. Januar 2008 (2008-01-10)	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F17C
A	* Absatz [0023]; Abbildung 1 *		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 6. Dezember 2023	Prüfer Pöll, Andreas
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

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

EP 23 18 4888

06-12-2023

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102009039645 A1	10-03-2011	DE 102009039645 A1	10-03-2011
		EP 2473772 A1	11-07-2012
		JP 2013504015 A	04-02-2013
		US 2012159970 A1	28-06-2012
		WO 2011026551 A1	10-03-2011

DE 102007057979 A1	04-06-2009	KEINE	

US 2022090739 A1	24-03-2022	CN 114251595 A	29-03-2022
		US 2022090739 A1	24-03-2022
		WO 2022056994 A1	24-03-2022

FR 3006742 A1	12-12-2014	KEINE	

US 2008008602 A1	10-01-2008	AT E469305 T1	15-06-2010
		CN 1910370 A	07-02-2007
		EP 1706646 A1	04-10-2006
		JP 2007518017 A	05-07-2007
		KR 20070035474 A	30-03-2007
		US 2008008602 A1	10-01-2008
		WO 2005068847 A1	28-07-2005

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 539336 C [0002]
- DE 102013003999 [0004]
- DE 102014015987 [0005]