



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**20.03.2024 Patentblatt 2024/12**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**F17C 5/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **22020439.0**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**F17C 5/007**

(22) Anmeldetag: **13.09.2022**

(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 MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

- **Vidic, Karl Jojo**  
**82049 Pullach (DE)**
- **Schwab, Daniel**  
**82049 Pullach (DE)**
- **Ackel, Alexander**  
**82049 Pullach (DE)**

(71) Anmelder: **Linde GmbH**  
**82049 Pullach (DE)**

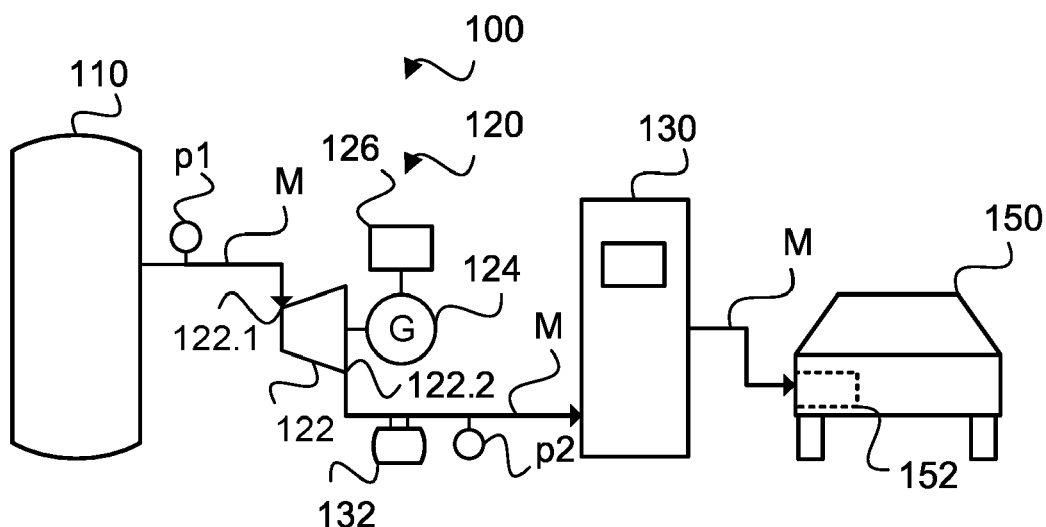
(74) Vertreter: **Zahn, Christoph**  
**Linde GmbH**  
**Intellectual Property EMEA**  
**Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14**  
**82049 Pullach (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Fahrner, Daniel**  
**82049 Pullach (DE)**

(54) **VERFAHREN ZUM BEFÜLLEN EINES BEHÄLTERS MIT WASSERSTOFF, ENTSPRECHENDE VORRICHTUNG UND WASSERSTOFFTANKSTELLE**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Befüllen eines Behälters (152) mit Wasserstoff (M) unter Verwendung einer Expansionsmaschine (122), die mit einer elektrischen Maschine (124) gekoppelt ist, wobei der Wasserstoff (M) durch die Expansionsmaschine (122), von einem Einlass (122.1) zu einem Auslass (122.2) der Expansionsmaschine, geleitet wird, und wobei ein Druck

(p2) und/oder ein Volumenstrom des Wasserstoffs (M) auf Seiten des Auslasses auf einen vorgegebenen Wert eingestellt oder geregelt werden, indem wenigstens eine Betriebsgröße der Expansionsmaschine (122) und/oder der elektrischen Maschine (124) eingestellt oder eingeregelt wird. Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung (100) und eine Wasserstofftankstelle (100) hierfür.



**Fig. 1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Befüllen eines Behälters mit Wasserstoff, eine Vorrichtung zum Bereitstellen von Wasserstoff für das Befüllen eines Behälters, sowie eine Wasserstofftankstelle und eine Verwendung der Vorrichtung.

**[0002]** Wasserstoff, der z.B. als Treibstoff für Fahrzeuge verwendet wird, kann über sog. Wasserstofftankstellen bereitgestellt werden. Bei einer Wasserstofftankstelle können zwei grundlegende Systembereiche unterschieden werden. Der erste Systembereich betrifft die Verdichtung des Wasserstoffes, dessen Speicherung sowie dessen Konditionierung und Kühlung. Der zweite Systembereich umfasst einen Wasserstoffdispenser und das dazugehörige Betankungsequipment wie beispielsweise Abreiß- und Betankungskupplung sowie den Betankungsschlauch.

**[0003]** Bei Wasserstofftankstellen oder auch anderen Anlagen oder Einrichtungen zum Bereitstellen bzw. Umfüllen von Wasserstoff muss der Wasserstoff häufig von einem höheren auf einen niedrigeren Druck entspannt werden. Durch den sog. Joule-Thomson-Effekt wird bei der typischen Verwendung von Ventilen für diesen Zweck allerdings der Wasserstoff erwärmt. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Aufgabe, das Bereitstellen von Wasserstoff zu verbessern.

### Offenbarung der Erfindung

**[0004]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Befüllen eines Behälters mit Wasserstoff, eine Vorrichtung sowie eine Wasserstofftankstelle und eine Verwendung der Vorrichtung mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

### Vorteile der Erfindung

**[0005]** Die Erfindung beschäftigt sich mit dem Befüllen von Behältern bzw. Tanks mit Wasserstoff wie z.B. an Wasserstofftankstellen. Beim Bereitstellen des Wasserstoffs hierfür muss diese in der Regel konditioniert werden. Insbesondere aufgrund der zunehmenden Verwendung von Wasserstoff als Treibstoff z.B. für Brennstoffzellen in Fahrzeugen ist ein Umfüllen bzw. Befüllen von Behältern mit Wasserstoff aus einem anderen Behälter oder einer sonstigen Quelle häufig nötig. Dies betrifft nicht nur das Betanken des Tanks eines wasserstoffbetriebenen Fahrzeugs, sondern z.B. auch das Befüllen von Transportbehältern auf z.B. LKWs.

**[0006]** Hierbei ist ein Druck des Wasserstoffs meistens von einem höheren Wert (mit dem der Wasserstoff z.B. in einem Vorratstank gespeichert ist) auf einen niedrigeren Wert (der z.B. für den Fahrzeugtank zugelassen ist) zu bringen, d.h. der Wasserstoff ist zu entspannen; auch ein Volumenstrom muss ggf. auf einen anderen Wert ge-

bracht bzw. angepasst werden.

**[0007]** Eine Möglichkeit hierbei ist die Verwendung eines Druckregelventils, mittels dessen der Druck des Wasserstoffs reduziert und auf einen gewünschten Wert eingestellt oder eingeregelt wird. Hierbei ist die Entspannung des Wasserstoffs ein isenthalper Prozess. Da speziell Wasserstoff allerdings einen negativen Joule-Thomson-Koeffizienten aufweist, führt die Druckreduzierung zu einer Erwärmung des Wasserstoffs (der Umgebung wird Wärme entzogen, die der Wasserstoff aufnimmt) und somit des Druckregelventils sowie ggf. weiterer Teile der Vorrichtung. Insbesondere kann es aber auch vorkommen, dass die Behälter oder Tanks, die mit dem Wasserstoff befüllt werden, für solch hohe Temperaturen des Wasserstoffs gar nicht ausgelegt oder geeignet sind.

**[0008]** Die Wärme kann z.B. durch die Verwendung von Wärmetauschern wie z.B. Plattenwärmetauscher oder indirekte Wärmetauscher mit Aluminium-Kältespeicher abgeführt werden; ebenso kann der Wasserstoff damit wieder gekühlt werden. Dies verursacht jedoch hohe Kosten.

**[0009]** Vor diesem Hintergrund wird nun die Verwendung einer Expansionsmaschine (bzw. Entspannungsmaschine) vorgeschlagen, die mit einer elektrischen Maschine gekoppelt ist. Beim Befüllen des Behälters (oder Tanks) wird der Wasserstoff, der z.B. von einem Vorratstank oder einer anderen Quelle erhalten wird, durch die Expansionsmaschine, von einem Einlass zu einem Auslass der Expansionsmaschine, geleitet. Nach der Expansionsmaschine kann der Wasserstoff dann in den Behälter gefüllt werden. Dabei werden ein Druck und/oder ein Volumenstrom des Wasserstoffs auf Seiten des Auslasses auf einen vorgegebenen Wert eingestellt oder geregelt, indem wenigstens eine BetriebsgröÙer der Expansionsmaschine und/oder der elektrischen Maschine eingestellt oder eingeregelt wird, z.B. eine von der elektrischen Maschine generatorisch bereitgestellte Leistung. Die Leistung kann z.B. auf einen bestimmten Wert eingestellt oder eingeregelt werden. Der Druck bzw. der Volumenstrom können hierbei insbesondere dynamisch eingestellt oder geregelt werden.

**[0010]** Die elektrische Maschine kann also als Generator genutzt werden und durch die Einstellung bzw. Regelung der abgegebenen Leistung wird ein Bremsmoment erzeugt bzw. aufgeprägt. Es kann die über die Expansionsmaschine abfallende Druckdifferenz oder der Volumenstrom geändert werden und zwar insbesondere dynamisch je nach aktuellem Bedarf. So können z.B. gewünschte Profile wie z.B. Betankungskurven oder Betankungsrampen eingestellt bzw. eingeregelt werden, wie sie häufig für die Betankung von Fahrzeugen vorgeschrieben sind. Dabei ist insbesondere vorgesehen, den Wasserstoff von der Quelle zum Behälter nur über die Expansionsmaschine zu leiten, also nicht z.B. auch noch parallel über ein Regelventil. Der Druck bzw. Volumenstrom werden also alleine durch die Expansionsmaschine eingestellt bzw. eingeregelt.

**[0011]** Anders als bei einem Druckregelventil liegt bei

der Expansionsmaschine kein isenthalper Prozess vor, sondern ein isentroper oder zumindest nahezu oder quasiisentroper Prozess. Dem Wasserstoff wird also Enthalpie bzw. Energie entzogen und der Wasserstoff kühlt trotz des negativen Joule-Thomson-Koeffizienten ab.

**[0012]** Durch das Fehlen eines Druckregelventils, an denen sich der Wasserstoff erwärmen würde, ist die Kälteleistung immer maximal. Dies führt insbesondere dazu, dass sich der Wasserstoff nicht bzw. nur insignifikant erwärmt sowie dazu, dass nicht nur keine Wärme abgeführt bzw. weggekühlt werden muss, vielmehr entsteht in der Regel sogar ein Überschuss an Kälte bzw. Kälteenergie.

**[0013]** Diese kann dann anderweitig verwendet werden, z.B. zum Kühlen einer oder mehreren Komponenten einer Wasserstofftankstelle, in der die Befüllung durchgeführt wird. Auch die an der elektrischen Maschine anfallende Leistung kann auf geeignete Weise verwendet werden, z.B. in ein Stromnetz eingespeist werden, oder kann z.B. auch zum Betrieb eines Verdichters an anderer Stelle verwendet werden.

**[0014]** Damit werden also nicht nur Kosten mitunter deutlich reduziert, auch der ökologische Fußabdruck wird deutlich reduziert.

**[0015]** Als Expansionsmaschine kommen insbesondere verschiedene Varianten in Betracht. Bevorzugt wird eine Turbomaschine, insbesondere eine axiale Turbomaschine, als Expansionsmaschine verwendet. Hierbei kann die von der elektrischen Maschine generatorisch bereitgestellte Leistung als Betriebsgröße eingestellt oder geregelt werden, um eine Druckdifferenz zwischen einem Druck des Wasserstoffs auf Seiten des Einlasses und auf Seiten des Auslasses einzustellen oder einzuregulieren, um so den Druck des Wasserstoffs auf Seiten des Auslasses einzustellen oder einzuregulieren.

**[0016]** Eine solche Turbomaschine (also eine Turbine) kann z.B. derart ausgelegt oder ausgebildet sein, dass sie bei maximaler Drehzahl nahezu keine Druckdifferenz zwischen Einlass und Auslass liefert. Die Turbomaschine läuft im Wasserstoffstrom dann frei mit. Soll der Druck des Wasserstoffs dann reduziert werden, kann der Bremsgenerator elektrisch zugeschaltet werden, indem zunächst überhaupt eine von der elektrischen Maschine abzugebende Leistung zunächst gefordert wird. Je höher die elektrische Leistung gefordert wird, desto höher ist das Bremsmoment und desto höher ist die Druckdifferenz. Dies erlaubt also eine Einstellung bzw. Regelung der Druckdifferenz und damit - in Abhängigkeit von dem Druck auf Seiten des Einlasses - auch des Drucks auf Seiten des Auslasses. Auch der Volumenstrom kann über die Turbomaschine eingestellt bzw. eingeregelt werden.

**[0017]** Die elektrische Maschine (bzw. der Generator) kann dabei z.B. vollständig (oder auch nur teilweise) innerhalb der Turbomaschine bzw. Turbine angeordnet sein. Da dort eine Zone 0 vorliegt, besteht, aufgrund mangelnder Sauerstoffkonzentration keine Oxidation und somit keine Gefahr einer Entzündung. Das Turbinenrad und der Rotor der elektrischen Maschine können z.B. eine

Einheit bilden und können z.B. dynamisch gasgelagert sein. Ein Beispiel für eine hier verwendbare Turbine ist z.B. in der EP 1 273 857 A1 beschrieben.

**[0018]** Ebenso wird bevorzugt eine Kolbenmaschine mit steuerbarem (oder gesteuertem) Einlass- und/oder Auslassventil als Expansionsmaschine verwendet. Hierbei kann Arbeitshub der Kolbenmaschine als Betriebsgröße eingestellt oder geregelt werden, um den Druck des Wasserstoffs auf Seiten des Auslasses einzustellen oder einzuregulieren. Hierbei können entweder das Einlassventil oder das Auslassventil oder beide entsprechend angesteuert werden, sodass bei mechanisch gleichbleibendem Kolbenhub der effektive Kolbenhub (der Arbeitshub), also der Anteil des mechanischen Kolbenhubs, mit dem der Wasserstoff entspannt wird, verändert wird. Ein späteres Öffnen des Einlassventils führt z.B. zu einem geringeren Arbeitshub, dieser wiederum zu einem geringeren Druck auf Seiten des Auslasses.

**[0019]** Ebenso kann z.B. eine von der elektrischen Maschine generatorisch bereitgestellte Leistung als Betriebsgröße eingestellt oder geregelt werden, um den Volumenstrom des Wasserstoffs auf Seiten des Auslasses einzustellen oder einzuregulieren. Durch ein Bremsmoment der elektrischen Maschine (bzw. des Generators) wird die Drehzahl der elektrischen Maschine und damit der Kolbenmaschine beeinflusst, was wiederum direkten Einfluss auf den Volumenstrom hat.

**[0020]** Um etwaige auftretende Druckstöße zu reduzieren, kann die Kolbenmaschine z.B. als Mehrzylinder-System (also mehrstufig) ausgebildet sein, dann insbesondere mit (je Zylinder) geringem Hubraum.

**[0021]** Auch die Verwendung einer ionischen Expansionsmaschine als Expansionsmaschine ist denkbar. Beispielsweise kann ein ionischer Kompressor/Entspanner eingesetzt werden, von dem der Entspanner genutzt bzw. der als solcher betrieben wird.

**[0022]** Die Erfindung ist anhand eines Ausführungsbeispiels in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnung

#### **[0023]**

Figur 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Wasserstofftankstelle in einer bevorzugten Ausführungsform.

Figur 2 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Wasserstofftankstelle in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform.

#### Ausführliche Beschreibung der Zeichnung

**[0024]** In Figur 1 ist schematisch eine erfindungsgemäße Wasserstofftankstelle 100 in einer bevorzugten Ausführungsform dargestellt, bei der auch ein erfin-

dungsgemäßes Verfahren durchführbar ist. Die Wasserstofftankstelle 100 weist beispielhaft eine Vorrattank 110 auf, der als Quelle für Wasserstoff M dienen soll. Die Wasserstofftankstelle 100 weist weiterhin beispielhaft einen Dispenser 130 auf, an der z.B. Betankungsequipment zum Betanken eines Fahrzeugs 150 vorgesehen sein kann. Beispielhaft soll ein Fahrzeugtank 152 des Fahrzeugs 150 ein Behälter sein, der mit Wasserstoff M befüllt werden soll.

**[0025]** In dem Vorrattank 110 ist der Wasserstoff M typischerweise mit einem Druck  $p_1$  gespeichert, der höher ist als ein Druck  $p_2$ , mit dem der Fahrzeugtank 152 befüllt werden soll oder werden darf. Es ist also eine Reduzierung des Drucks zwischen dem Vorrattank 110 und dem Fahrzeugtank 152 bzw. auch schon dem Dispenser 130 erforderlich. Insbesondere kann auch vorgesehen sein, dass der Druck  $p_2$  nicht nur auf einem bestimmten Wert eingestellt oder eingeregelt werden soll, sondern es können auch sog. Betankungskurven vorgegeben sein, die während des Betankungsvorgangs (also dem Befüllen des Fahrzeugtanks) verschiedene Werte für den Druck  $p_2$  fordern, die dann entsprechend einzustellen oder einzuregulieren sind. Auch ein bestimmter Wert für einen Volumenstrom des Wasserstoffs M beim Befüllen kann vorgegeben sein, der z.B. ebenfalls im Rahmen einer Betankungskurve variieren kann.

**[0026]** Hierzu weist die Wasserstofftankstelle 100 nun eine Vorrichtung 120 auf, die zur Bereitstellung von Wasserstoff für das Befüllen eines Behälters, hier des Fahrzeugtanks 152, vorgesehen und eingerichtet ist. Bei der Vorrichtung 120 handelt es sich um eine erfindungsgemäße Vorrichtung in einer bevorzugten Ausführungsform, die an sich auch anderweitig als in der Wasserstofftankstelle 110 verwendet werden könnte.

**[0027]** Die Vorrichtung 120 weist eine Expansionsmaschine 122 und eine damit gekoppelte elektrische Maschine 124, insbesondere eine Generator, auf. Beispielhaft handelt es sich bei der Expansionsmaschine 122 um eine Turbomaschine, insbesondere ein axiale Turbomaschine, also eine Turbine. Wie bereits erwähnt, können die Turbine und die elektrische Maschine oder deren Rotor z.B. als eine Einheit ausgebildet sein.

**[0028]** Ebenso können die Expansionsmaschine 122 und die elektrische Maschine aber z.B. über eine Welle gekoppelt, also miteinander drehmomentübertragend verbunden sein. Es sei erwähnt, dass die elektrische Maschine 124 auch einen Stromrichter oder Inverter umfasst.

**[0029]** Die Turbomaschine 122 weist einen Einlass 122.1 für den Wasserstoff M auf sowie einen Auslass 122.2. Der Wasserstoff M wird damit also durch die Turbomaschine 122, von dem Einlass 122.1 zu dem Auslass 122.2, geleitet.

**[0030]** Durch gezielte Ansteuerung der elektrischen Maschine 124, und zwar insbesondere durch Einstellen oder Regeln einer von der elektrischen Maschine generatorisch bereitgestellten Leistung kann die Bremswirkung, die die elektrische Maschine auf die Turbomaschi-

ne 122 ausübt, gezielt eingestellt bzw. eingeregelt werden, wodurch wiederum eine Druckdifferenz  $p_2-p_1$ , also zwischen Einlass 122.1 und Auslass 122.2, eingestellt bzw. eingeregelt wird.

**[0031]** Hierzu kann z.B. die beispielhaft vorgesehene Steuereinheit 126 der Vorrichtung 120 verwendet werden. Die Steuereinheit 126 kann auch in den erwähnten Inverter integriert sein oder umgekehrt. Auf diese Weise kann also der Druck  $p_2$  beim Befüllen bzw. beim Betankungsvorgangs auf gewünschte Werte gebracht werden, z.B. auch derart, dass eine bestimmte Betankungskurve erreicht wird. Hierzu kann z.B. auch die Steuereinheit 126 datenübertragend mit dem Dispenser 130 verbunden sein, sodass bei einem Beginn des Betankungsvorgangs eine Regelung des Drucks  $p_2$  entsprechend erfolgen kann.

**[0032]** Die von der elektrischen Maschine 124 erzeugte Leistung kann dann z.B. in ein Stromnetz eingespeist, in einem elektrischen Energiespeicher gespeichert oder z.B. auch anderweitig in der Wasserstofftankstelle 100 verwendet werden. Beispielsweise kann damit auch ein (hier nicht gezeigter) Verdichter an anderer Stelle der Wasserstofftankstelle betrieben werden.

**[0033]** Wie erwähnt, entsteht durch die Entspannung des Wasserstoffs M bzw. der Reduzierung des Drucks durch die Turbomaschine 122 bzw. allgemein die Expansionsmaschine Kälte, und zwar insbesondere auch überschüssige Kälte. Diese überschüssige Kälte kann z.B. zum Kühlen an anderen Stellen z.B. in der Wasserstofftankstelle 100 verwendet werden, z.B. auch zum Kühlen des erwähnten Verdichters oder auch für eine Klimatisierung, um ggf. nötige, maximale Umgebungstemperaturen einhalten zu können.

**[0034]** Weiterhin kann ein Wasserstofftankstelle 100 (oder auch die Vorrichtung 120) einen Kältespeicher 132 aufweisen, in welchem die durch die Entspannung des Wasserstoffs M entstehende Kälte gespeichert bzw. zwischengespeichert und auch geglättet wird. Hierzu kann der Wasserstoff durch den Kältespeicher geführt werden (hier nur angedeutet). Dies kann insofern vorteilhaft sein, als bei hoher Druckdifferenz, wie sie typischerweise zuerst auftritt, mehr Kälte erzeugt wird, als bei geringer Druckdifferenz; insbesondere gegen Ende des Betankungsvorgangs entsteht kaum bis gar keine Kälte mehr.

**[0035]** In Figur 2 ist schematisch eine erfindungsgemäßen Wasserstofftankstelle 200 in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform dargestellt, bei der auch ein erfindungsgemäßes Verfahren durchführbar ist. Die Wasserstofftankstelle 200 entspricht beispielhaft der Wasserstofftankstelle 100 aus Figur 1, mit dem Unterschied, dass anstelle der Vorrichtung 120 eine Vorrichtung 220 vorgesehen ist, die zur Bereitstellung von Wasserstoff für das Befüllen eines Behälters, hier 220 Fahrzeugtanks 152, vorgesehen und eingerichtet ist. Bei der Vorrichtung 220 handelt es sich um eine erfindungsgemäße Vorrichtung in einer bevorzugten Ausführungsform, die an sich auch anderweitig als in der Wasserstofftankstelle 110 verwendet werden könnte.

**[0036]** Nachfolgend soll insofern nur auf die Vorrichtung 220 sowie insbesondere deren Unterschiede zur Vorrichtung 120 eingegangen werden. Im Übrigen gelten die Ausführungen zur Figur 1 entsprechend, insbesondere sind gleiche Komponenten der Wasserstofftankstelle 200 auch mit gleichen Bezugszeichen wie bei der Wasserstofftankstelle 100 bezeichnet.

**[0037]** Die Vorrichtung 200 weist eine Expansionsmaschine 222 und eine damit gekoppelte elektrische Maschine 224, insbesondere eine Generator, auf. Beispielsweise handelt es sich bei der Expansionsmaschine 222 um eine Kolbenmaschine. Die Kolbenmaschine 222 weist beispielsweise zwei Zylinder-Einheiten auf, die je ein Einlassventil 222.1, 222.3 sowie ein Auslassventil 222.2, 222.4 aufweisen.

**[0038]** Der Wasserstoff M wird somit durch das Einlassventil 222.1 in die linke Zylinder-Einheit eingeleitet, dort durch das Auslassventil 222.2 heraus und durch das Einlassventil 222.3 in die rechte Zylinder-Einheit. Durch das Auslassventil 222.4 verlässt der Wasserstoff M die rechte Zylinder-Einheit und damit die Kolbenmaschine. Damit handelt es sich beim Einlassventil 222.1 um einen Einlass und beim Auslassventil 222.4 um einen Auslass der (gesamten) Kolbenmaschine 222. Es versteht sich, dass auch mehr Zylinder-Kolbeneinheiten vorgesehen sein können. Die Zylinder-Kolbeneinheiten können durch einen hier nicht bezeichneten Antrieb angetrieben sein.

**[0039]** Die Kolbenmaschine bzw. Expansionsmaschine 222 und die elektrische Maschine 224 können z.B. über eine Welle gekoppelt, also miteinander drehmomentübertragend verbunden sein. Es sei erwähnt, dass die elektrische Maschine 224 auch einen Stromrichter oder Inverter umfasst.

**[0040]** Durch gezielte Ansteuerung der elektrischen Maschine 224, und zwar insbesondere durch Einstellen oder Regeln einer von der elektrischen Maschine generatorisch bereitgestellten Leistung kann die Bremswirkung, die die elektrische Maschine auf die Kolbenmaschine 222 ausübt, gezielt eingestellt bzw. eingeregelt werden, wodurch wiederum eine Drehzahl und damit ein Volumenstrom des Wasserstoffs M eingestellt bzw. eingeregelt wird.

**[0041]** Hierzu kann z.B. die beispielhaft vorgesehene Steuereinheit 226 der Vorrichtung 220 verwendet werden. Die Steuereinheit 226 kann auch in den erwähnten Inverter integriert sein oder umgekehrt.

**[0042]** Weiterhin sind die Einlassventile 222.1, 222.3 und die Auslassventile 222.2, 222.4 oder z.B. auch nur die Einlassventile oder nur die Auslassventile steuerbar, d.h. sie können gezielt geöffnet und geschlossen werden. Auch hierfür kann z.B. die Steuereinheit 226 verwendet werden. Ebenso kann aber eine separate Steuereinheit vorgesehen sein. Damit kann der Druck p2 eingestellt bzw. eingeregelt werden.

**[0043]** Auf diese Weise kann der Arbeitshub der Kolbenmaschine 222 verändert werden und so der Druck p2 beim Befüllen bzw. beim Betankungsvorgangs auf gewünschte Werte gebracht werden, z.B. auch derart, dass

eine bestimmte Betankungskurve erreicht wird. Hierzu kann z.B. auch die Steuereinheit 226 datenübertragend mit dem Dispenser 130 verbunden sein, sodass bei einem Beginn des Betankungsvorgangs eine Regelung des Drucks p2 entsprechend erfolgen kann.

**[0044]** Die von der elektrischen Maschine 224 erzeugte Leistung kann ebenfalls z.B. in ein Stromnetz eingespeist, in einem elektrischen Energiespeicher gespeichert oder z.B. auch anderweitig in der Wasserstofftankstelle 200 verwendet werden. Beispielsweise kann damit auch ein (hier nicht gezeigter) Verdichter an anderer Stelle der Wasserstofftankstelle betrieben werden.

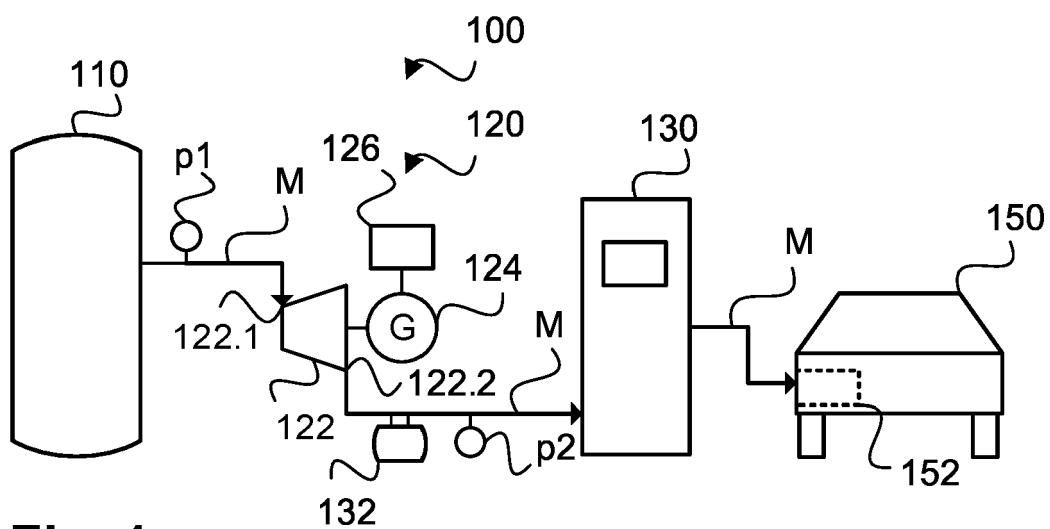
**[0045]** Auch bei der Kolbenmaschine entsteht durch die Entspannung des Wasserstoffs M bzw. der Reduzierung des Drucks Kälte, und zwar insbesondere auch überschüssige Kälte. Diese überschüssige Kälte kann z.B. zum Kühlen an anderen Stellen z.B. in der Wasserstofftankstelle 200 verwendet werden, z.B. auch zum Kühlen des erwähnten Verdichters.

**[0046]** Weiterhin kann ein Wasserstofftankstelle 200 (oder auch die Vorrichtung 220) einen Kältespeicher 132 aufweisen, in welchem die durch die Entspannung des Wasserstoffs M entstehende Kälte gespeichert bzw. zwischengespeichert und auch geglättet wird. Hierzu kann der Wasserstoff durch den Kältespeicher geführt werden (hier nur angedeutet). Dies kann insofern vorteilhaft sein, als bei hoher Druckdifferenz, wie sie typischerweise zuerst auftritt, mehr Kälte erzeugt wird, als bei geringer Druckdifferenz; insbesondere gegen Ende des Betankungsvorgangs entsteht kaum bis gar keine Kälte mehr.

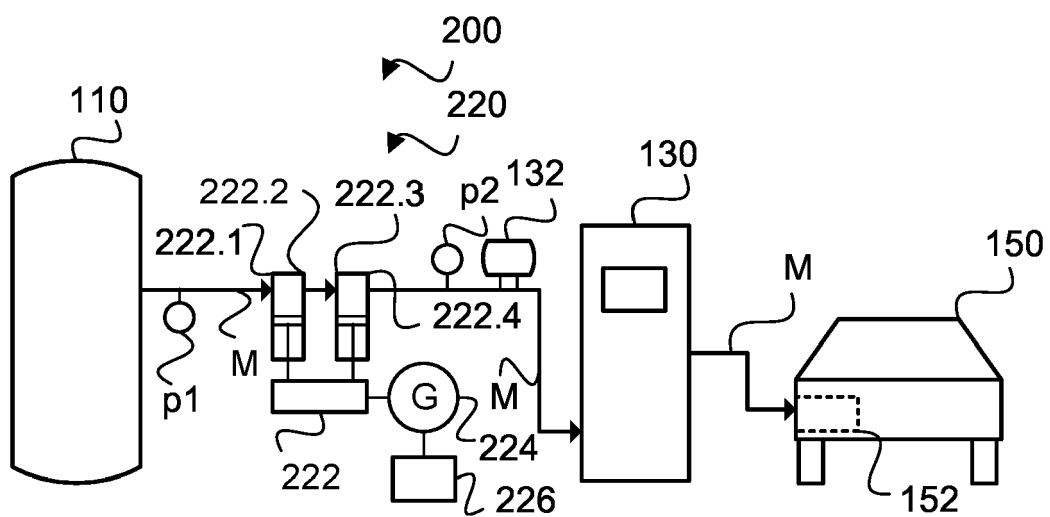
## Patentansprüche

1. Verfahren zum Befüllen eines Behälters (152) mit Wasserstoff (M) unter Verwendung einer Expansionsmaschine (122, 222), die mit einer elektrischen Maschine (124, 224) gekoppelt ist, wobei der Wasserstoff (M) durch die Expansionsmaschine (122, 222), von einem Einlass (122.1, 222.1) zu einem Auslass (122.2, 222.4) der Expansionsmaschine, geleitet wird, und wobei ein Druck (p2) und/oder ein Volumenstrom des Wasserstoffs (M) auf Seiten des Auslasses auf einen vorgegebenen Wert eingestellt oder geregelt werden, indem wenigstens eine Betriebsgröße der Expansionsmaschine (122, 222) und/oder der elektrischen Maschine (124, 224) eingestellt oder eingeregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine Turbomaschine, insbesondere eine axiale Turbomaschine, als Expansionsmaschine (122) verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei eine von der elektrischen Maschine generatorisch bereitgestellte Leistung als Betriebsgröße eingestellt oder geregelt wird, um eine Druckdifferenz zwischen einem Druck

- (p1) des Wasserstoffs auf Seiten des Einlasses und dem Druck (p2) auf Seiten des Auslasses einzustellen oder einzuregeln, um so den Druck (p2) des Wasserstoffs auf Seiten des Auslasses einzustellen oder einzuregeln. 5
4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine Kolbenmaschine mit steuerbarem Einlass- und/oder Auslassventil als Expansionsmaschine (222) verwendet wird. 10
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei eine von der elektrischen Maschine generatorisch bereitgestellte Leistung als Betriebsgröße eingestellt oder geregelt wird, um den Volumenstrom des Wasserstoffs (M) auf Seiten des Auslasses einzustellen oder einzuregeln. 15
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, wobei ein Arbeitshub der Kolbenmaschine als Betriebsgröße eingestellt oder geregelt wird, um den Druck (p2) des Wasserstoffs auf Seiten des Auslasses einzustellen oder einzuregeln. 20
7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine ionische Expansionsmaschine als Expansionsmaschine verwendet wird. 25
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Wasserstoff von einer Quelle (110) erhalten und zu dem zu befüllenden Behälter (152) nur durch die Expansionsmaschine (122, 222) geleitet wird. 30
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei beim Befüllen des Behälters (152) der Druck und/oder der Volumenstrom gemäß einem vorgegebenen Verlauf, insbesondere einer Betankungskurve, eingestellt oder eingeregelt werden. 35
10. Vorrichtung (120, 220) zur Bereitstellung von Wasserstoff (M) für das Befüllen eines Behälters (152), aufweisend eine Expansionsmaschine (122, 222) und eine damit gekoppelte elektrische Maschine (124, 224), wobei die Expansionsmaschine einen Einlass (122.1, 222.1) und einen Auslass (122.2, 222.4) für Wasserstoff aufweist, die derart angeordnet sind, dass der Wasserstoff durch die Expansionsmaschine (122, 222), von dem Einlass zu dem Auslass leitbar ist, 40
- wobei die Vorrichtung (120, 220) eingerichtet ist, einen Druck (p2) und/oder einen Volumenstrom des Wasserstoffs auf Seiten des Auslasses auf einen vorgegebenen Wert einzustellen oder einzuregeln, indem wenigstens eine Betriebsgröße der Expansionsmaschine (122, 222) und/oder der elektrischen Maschine (124, 224) eingestellt oder eingeregelt wird. 45
11. Vorrichtung (120, 220) nach Anspruch 10, wobei die Expansionsmaschine als Turbomaschine, insbesondere als axiale Turbomaschine, oder als Kolbenmaschine mit steuerbarem Einlass- und/oder Auslassventil, oder als ionische Expansionsmaschine ausgebildet ist. 50
12. Wasserstofftankstelle (100, 200) mit einer Vorrichtung (120, 220) nach Anspruch 10 oder 11. 55
13. Wasserstofftankstelle (100, 200) nach Anspruch 12, die eingerichtet ist, mittels bei der Bereitstellung des Wasserstoffs (M) erhaltenen Kälte eine oder mehrere Komponenten der Wasserstofftankstelle zu kühlen.
14. Verwendung einer Vorrichtung (120, 220) nach Anspruch 10 oder 11 zum Betanken eines Fahrzeugs (150) mit Wasserstoff (M).



**Fig. 1**



**Fig. 2**



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 02 0439

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

4

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	EP 1 722 152 A2 (HONDA MOTOR CO LTD [JP]) 15. November 2006 (2006-11-15) * Absatz [0002]; Abbildungen * -----	1-3, 8-14	INV. F17C5/00
X	US 2015/068641 A1 (AIGOUY GERALD [FR] ET AL) 12. März 2015 (2015-03-12) * Absätze [0009], [0075]; Abbildungen * -----	1, 4-14	
X	GB 2 593 538 A (NANOSUN IP LTD [GB]) 29. September 2021 (2021-09-29) * Absätze [0002], [0030], [0042], [0059]; Abbildungen * -----	1, 4-14	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F17C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>3. Februar 2023</b>	Prüfer <b>Pöll, Andreas</b>
KATEGORIE DER GENANNTE DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche 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 22 02 0439

5 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.

03-02-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<b>EP 1722152 A2</b>	<b>15-11-2006</b>	<b>EP 1722152 A2</b>	<b>15-11-2006</b>
		<b>JP 4855826 B2</b>	<b>18-01-2012</b>
		<b>JP 5221715 B2</b>	<b>26-06-2013</b>
		<b>JP 2006316994 A</b>	<b>24-11-2006</b>
		<b>JP 2012017850 A</b>	<b>26-01-2012</b>
		<b>US 2007000561 A1</b>	<b>04-01-2007</b>
-----			
<b>US 2015068641 A1</b>	<b>12-03-2015</b>	<b>CN 104220804 A</b>	<b>17-12-2014</b>
		<b>EP 2831490 A1</b>	<b>04-02-2015</b>
		<b>FR 2988695 A1</b>	<b>04-10-2013</b>
		<b>JP 2015511695 A</b>	<b>20-04-2015</b>
		<b>US 2015068641 A1</b>	<b>12-03-2015</b>
		<b>WO 2013144470 A1</b>	<b>03-10-2013</b>
-----			
<b>GB 2593538 A</b>	<b>29-09-2021</b>	<b>AU 2021242032 A1</b>	<b>10-11-2022</b>
		<b>EP 4127553 A1</b>	<b>08-02-2023</b>
		<b>GB 2593538 A</b>	<b>29-09-2021</b>
		<b>KR 20220159437 A</b>	<b>02-12-2022</b>
		<b>WO 2021191636 A1</b>	<b>30-09-2021</b>
-----			

EPO FORM P0461

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**

- EP 1273857 A1 [0017]