



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 721 148 A1

(51) Int. Cl.: F04C 23/00 (2006.01)
F04B 39/16 (2006.01)
F04F 13/00 (2009.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 001045/2023

(71) Anmelder:
Green-Y Energy AG, Tschamerie 40
3415 Hasle bei Burgdorf (CH)

(22) Anmeldedatum: 22.09.2023

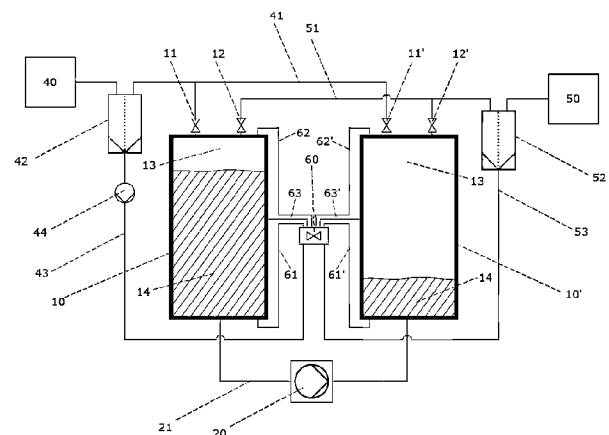
(72) Erfinder:
Rafik Barhoumi, 3415 Hasle bei Burgdorf (CH)
Mohameddeq Hassan, 3415 Hasle bei Burgdorf (CH)
Pablo Gassmann, 3415 Hasle bei Burgdorf (CH)
Pascal Zürcher, 3415 Hasle bei Burgdorf (CH)
Patrick Baumann, 3415 Hasle bei Burgdorf (CH)
Dominik Schnarwiler, 3415 Hasle bei Burgdorf (CH)

(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.03.2025

(74) Vertreter:
euromaier AG, Berglihöh 3
8725 Ernetschwil (CH)

(54) Flüssigkolbenvorrichtung und Verfahren zur Kompression und Expansion eines Gases

(57) Die Erfindung betrifft eine Flüssigkolbenvorrichtung umfassend mindestens zwei Zylinder (10, 10'), eine Flüssigkeitsleitung (21), die die Zylinder (10, 10') miteinander verbindet, eine Flüssigkeitsantriebseinheit (20), mit welcher eine Flüssigkeit (14) von einem Zylinder (10, 10') zum anderen Zylinder (10, 10') beförderbar ist, ein Gasniederdruckreservoir (40), das über eine Niederdruckleitung (41) mit jedem Zylinder (10, 10') verbunden ist, ein Niederdruckventil (11, 11') für jeden Zylinder (10, 10'), mit welchem die Niederdruckleitung (41) zum Zylinder (10, 10') geöffnet und geschlossen werden kann, ein Gashochdruckreservoir (50), das über eine Hochdruckleitung (51) mit jedem Zylinder (10, 10') verbunden ist, und ein Hochdruckventil (12, 12') für jeden Zylinder (10, 10'), mit welchem die Hochdruckleitung (51) zum Zylinder (10, 10') geöffnet und geschlossen werden kann. Auf der Hoch- und/oder Niederdruckleitung (41, 51) wird ein Flüssigkeitsabscheider (42, 52) angeordnet, um Flüssigkeit (14) aufzufangen, die zur Minimierung des Totraumvolumens in die Hoch- und/oder Niederdruckleitung (41, 51) getrieben wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Flüssigkolbenvorrichtung, ein Verfahren zur Kompression und Expansion eines Gases und diverse Verwendungen der Flüssigkolbenvorrichtung.

[0002] Für die Kompression eines Gases, insbesondere über einen hohen Druckbereich, werden üblicherweise Kolbenkompressoren eingesetzt. Diese Technologie ermöglicht im Gegensatz zu rotativen Kompressorsystemen das Erreichen von höheren Drücken mittels geeigneter Abdichtung des Kolbenraums. Gerade diese Abdichtung stellt jedoch die Herausforderung bezüglich Kosten- und Wartungsaufwand dar und eine Schmierung des Kolbens muss ebenfalls gewährleistet sein. Wenn reines Druckgas benötigt wird, ist zudem die Kontamination vom Gas zu verhindern, welche durch den Kontakt mit dem Antriebsmedium vorkommen kann.

[0003] Diese Herausforderung lösen Flüssigkolbensysteme, indem anstelle eines festen Kolbens, welcher im Zylinder bewegt wird, eine Flüssigkeit als Kolben dient. Das steigende Flüssigkeitslevel verdichtet dabei das Gas im Zylinder. Damit ist auch die Dichtheit des Druckraums gewährleistet. Die Schmierung ist beim Flüssigkolben nicht notwendig und der Wartungsaufwand wird dadurch deutlich reduziert.

[0004] Über die Flüssigkeit wird der Wärmeaustausch mit dem komprimierten Gas gefördert, was sich vorteilhaft auf die Effizienz des Kompressionsvorgangs auswirkt, da die Temperaturschwankungen verringert werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, im Zylinder einen festen Wärmetauscher einzubauen, welcher von der Flüssigkeit umströmt werden kann und den Wärmeaustausch zusätzlich erhöht. Dies ist in konventionellen Kolbenkompressoren aufgrund des festen Kolbens nicht möglich. Schlussendlich kann in Flüssigkolbensystemen das Totraumvolumen des Gases durch entsprechende Verteilung der Flüssigkeit im Kompressionsraum minimiert werden.

[0005] Flüssigkolbensysteme können durch die Umdrehung des Prozesses ebenfalls auch als Expander eingesetzt werden. Dabei drückt komprimiertes Gas die Flüssigkeitssäule aus dem Zylinder und treibt einen Flüssigkeitsmotor an. Diese Umkehrung ist bei Flüssigkolbensystemen generell mit der gleichen Einrichtung, welche für die Kompression benutzt wird, möglich, indem entsprechende Ventilschaltungen verwendet werden. Somit kann mit wenig Aufwand ein bidirektionales System realisiert werden.

[0006] Flüssigkolbenkompressoren finden Anwendung im höheren Druckbereich, wie zum Beispiel bei der Druckgasbereitstellung, bei der Befüllung von Druckgasflaschen und bei Druckgastankstellen. Der Flüssigkolbenexpander kann überall dort eingesetzt werden, wo Druckgas von einem höheren Druckniveau auf ein tieferes Druckniveau entspannt wird, zum Beispiel bei der Druckgasentnahme aus einem Speicher oder einer Pipeline. Das bidirektionale System findet vor allem Anwendung bei Druckgas Speichersystemen, wie zum Beispiel bei Druckluft Energiespeichersystemen.

[0007] Aus dem Stand der Technik sind zum Beispiel aus der DE 102004046316 A1 Flüssigkolbensysteme bekannt, welche ausschliesslich als Kompressor dienen. Dabei wird insbesondere Wasserstoff komprimiert und als Flüssigkeit eine ionische Flüssigkeit verwendet, um das zu verdichtende gasförmige Medium nicht zu kontaminieren.

[0008] Die WO 2017198725 A1 zeigt ein bidirektionales Flüssigkolbensystem, welches insbesondere in einem mehrstufigen Energiespeichersystem für die Kompression und Expansion eines Gases verwendet wird. Dabei wird mit einem Wärmetauscher im Zylinder der Wärmeaustausch zwischen Gas und Flüssigkeit erhöht.

[0009] In der DE 102012003288 B3 wird ein bidirektionales Flüssigkolbensystem gezeigt, welches mit einem optimierten Design des Wärmetauschers den Wärmeaustausch weiter begünstigt. Zusätzlich wird mit einer angepassten schrägen Anordnung der Zylinder das Totraumvolumen minimiert.

[0010] Die WO 2008139267 A1 zeigt ein bidirektionales Flüssigkolbensystem, bei dem ein Teil der Flüssigkeit mittels Spray direkt in den Kompressions- beziehungsweise Expansionsraum gebracht wird. Somit wird der Wärmeaustausch zwischen Flüssigkeit und Gas ebenfalls erhöht und es werden für die Effizienz vorteilhaft nahezu isotherme Konditionen erreicht.

[0011] Die WO 2008031527 A1 zeigt ein Flüssigkolbensystem, welches die Messung des Flüssigkeitspegels in mehreren Zylindern durch eine Pegelmessung im Leckagetank ersetzt. Dadurch werden Kosten optimiert und es ermöglicht das Anbringen von festen Wärmetauschern im Zylinder, ohne dabei mit der Pegelmessung zu kollidieren. Dieses System wird jedoch nur als Kompressor ausgeführt.

[0012] Die aus dem Stand der Technik bekannten Flüssigkolbensysteme weisen auf verschiedenen Ebenen noch weiteres Optimierungspotential auf. Erstens besteht immer noch ein Totraumvolumen, welches die Effizienz der Komprimierung und der Expansion des Gases beeinträchtigt. Zweitens bewirken die Kompression und Expansion immer noch eine starke Erwärmung bzw. Abkühlung des Gases, welche das Verdampfen bzw. Erstarren von Flüssigkeiten sowie das Kondensieren des Gases verursachen kann. Drittens sind die eingesetzten Systeme zur Messung des Flüssigkeitspegels, welche für die Steuerung des Systems notwendig sind, z.T. komplex und kostenintensiv.

[0013] Die vorliegende Erfindung stellt sich nunmehr die Aufgabe, eine Flüssigkolbenvorrichtung und ein Verfahren zur Kompression und/oder Expansion eines Gases bereitzustellen, welche das Totraumvolumen minimieren. Eine weitere, optionale Aufgabe ist die Bereitstellung einer Flüssigkolbenvorrichtung und eines entsprechenden Verfahrens, mit welchen das Kompressions- und/oder Expansionsverfahren stärker isotherm ist. Eine weitere, optionale Aufgabe ist die Bereitstellung einer Flüssigkolbenvorrichtung mit einem einfachen System zur Messung des Flüssigkeitspegels darin.

[0014] Diese Aufgaben lösen eine Flüssigkolbenvorrichtung und zwei Verfahren mit den Merkmalen der Patentansprüche 1, 11 und 12. Weitere Merkmale und Ausführungsbeispiele gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor und deren Vorteile sind in der nachfolgenden Beschreibung erläutert.

[0015] Die Figuren zeigen:

Figur 1 Schematische Zeichnung einer Flüssigkolbenvorrichtung mit zwei Zylindern für die Kompression und Expansion eines Gases

Figur 2 Schematische Zeichnung für die Anwendung in einem Druckgas Energiespeichersystem

Figur 3 Schematische Zeichnung der allgemeinen Energieflüsse

Figur 4 Schematische Zeichnung für die Anwendung in der Druckgas Bereitstellung

Figur 5 Flüssigkolbenvorrichtung mit dem Flüssigkeitsmanagement-System

Figur 6 Flüssigkolbenvorrichtung mit dem Wärmemanagement-System

Figur 7 Flüssigkolbenvorrichtung mit dem Managementsystem für die Leckageflüssigkeit

Figur 8 Flüssigkolbenvorrichtung mit den Druck- und Flüssigkeitslevelsensoren

Figur 9 Detail eines Zylinders mit Verwirbelungsstift

[0016] Die Figuren stellen mögliche Ausführungsbeispiele dar, welche in der nachfolgenden Beschreibung erläutert werden.

[0017] Grundlage der Erfindung ist eine Flüssigkolbenvorrichtung, mit welcher Gas 13, beispielsweise Umgebungsluft, Stickstoff oder Sauerstoff, aus einem Gasniederdruckreservoir 40 mit niedrigerem Druck auf einen höheren Druck komprimierbar und in einem Gashochdruckreservoir 50 speicherbar ist. Diese Flüssigkolbenvorrichtung umfasst mindestens zwei Zylinder 10, 10', die durch eine Flüssigkeitsleitung 21 miteinander verbunden sind (siehe Figur 1). Auf dieser Flüssigkeitsleitung 21 befindet sich eine Flüssigkeitsantriebseinheit 20 umfassend eine Hydraulikpumpe, mit welcher eine Flüssigkeit 14 von einem Zylinder 10, 10' zum anderen Zylinder 10, 10' befördert werden kann. Jeder Zylinder 10, 10' ist durch eine Niederdruckleitung 41 mit dem Gasniederdruckreservoir 40 verbunden, sodass ein Gas 13 vom Gasniederdruckreservoir 40 durch die Niederdruckleitung 41 in jeden Zylinder 10, 10' gelangen kann. Das Gasniederdruckreservoir 40 ist vorzugsweise ein Behälter, in welchem sich Gas 13 unter niedrigem Druck befindet, beispielsweise unter 1 bis 100 bar. Das Gasniederdruckreservoir 40 könnte aber auch einfach die Umgebung sein, wobei Luft von der Umgebung durch die Niederdruckleitung 41 in die Zylinder 10, 10' gelangt, oder ein Niederdruck-Kompressor und/oder -Expander, welcher z.B. Gas auf einem gewissen Druckniveau vorkomprimiert und/oder ein Gasgenerator, welcher eine gewisse Gaskomponente, beispielsweise Stickstoff, aus Umgebungsluft bereitstellt (siehe Figur 2). Die Niederdruckleitung 41 ist mit Niederdruckventilen 11, 11' versehen, mit welchen der Durchgang von Gas 13 vom Gasniederdruckreservoir 40 zu jedem Zylinder 10, 10' steuerbar ist. Jeder Zylinder 10, 10' ist durch eine Hochdruckleitung 51 mit dem Gashochdruckreservoir 50 verbunden, so dass ein Gas 13 von jedem Zylinder 10, 10' durch die Hochdruckleitung 51 ins Gashochdruckreservoir 50 gelangen kann. Das Gashochdruckreservoir 50 ist vorzugsweise ein Behälter, der zur Abnahme und/oder Speicherung von Gas 13 unter Hochdruck von beispielsweise 10 bis 1000 bar geeignet ist. Das Gashochdruckreservoir 50 kann aber auch ein Hochdruck-Kompressor und/oder -Expander sein oder umfassen, welches z.B. Gas auf einem noch höheren Druckniveau nachkomprimiert. Die Hochdruckleitung 51 ist mit Hochdruckventilen 12, 12' versehen, mit welchen der Durchgang von Gas 13 von jedem Zylinder 10, 10' zum Gashochdruckreservoir 50 steuerbar ist.

[0018] Beim Betrieb der Flüssigkolbenvorrichtung befindet sich in den Zylindern 10, 10' eine Flüssigkeit 14, beispielsweise Wasser oder Öl oder eine andere geeignete Flüssigkeit. Zur Kompression und Speicherung von komprimiertem Gas im Gashochdruckreservoir 50 befördert die Flüssigkeitsantriebseinheit 20 Flüssigkeit 14 durch die Flüssigkeitsleitung 21 von einem ersten Zylinder 10, 10' zu einem zweiten Zylinder 10, 10'. Die nachfolgende Beschreibung des Kompressionsverfahrens stützt sich auf die Figur 1, bei welcher arbiträr davon ausgegangen wird, dass die Flüssigkeitsantriebseinheit 20 Flüssigkeit 14 vom ersten Zylinder 10 auf der linken Seite zum zweiten Zylinder 10' auf der rechten Seite befördert. Dabei findet im zweiten Zylinder 10' zuerst ein Kompressionsvorgang und dann ein Ausschiebevorgang statt:

- Während des Kompressionsvorgangs sind das Niederdruckventil 11' und das Hochdruckventil 12' des zweiten Zylinders 10' geschlossen, sodass das sich darin befindende Gas 13 durch die eintretende Flüssigkeit 14 komprimiert wird.
- Sobald das gewünschte Druckniveau erreicht wird, startet der Ausschiebevorgang: Das Hochdruckventil 12' öffnet sich und das komprimierte Gas wird durch die eintretende Flüssigkeit 14 ins Gashochdruckreservoir 50 geschoben.

[0019] Währenddessen ist das mit dem ersten Zylinder 10 verbundene Niederdruckventil 11 offen, und das mit dem ersten Zylinder 10 verbundene Hochdruckventil 12 geschlossen, sodass die aus dem ersten Zylinder 10 austretende Flüssigkeit 14 darin mit Gas 13 aus dem Gasniederdruckreservoir 40 ersetzt wird. Sobald der zweite Zylinder 10' mit Flüssigkeit 14 gefüllt ist, können die Nieder- und Hochdruckventile 11, 11', 12, 12' und die Beförderungsrichtung der Flüssigkeitsantriebseinheit 20 umgeschaltet werden, um das Kompressionsverfahren mit der Kompression und dem Ausschleiben des sich im ersten Zylinder 10 befindenden Gases 13 fortzusetzen und so weiter. Vorzugsweise ist die Menge Flüssigkeit 14, die sich in der Flüssigkolbenvorrichtung befindet, grösser als das Volumen eines Zylinders 10, 10'. Damit wird sichergestellt, dass bei der Füllung eines Zylinders 10, 10' ein anderer Zylinder 10, 10' nie vollständig geleert wird und sich in der Flüssigkeitsantriebseinheit 20 immer Flüssigkeit 14 befindet.

[0020] Beim Betrieb der Flüssigkolbenvorrichtung wird die eingehende mechanische oder elektrische Energie, mit welcher die Flüssigkeitsantriebseinheit 20 angetrieben wird, in Form von komprimiertem Gas im Gashochdruckreservoir 50 gespeichert. Diese gespeicherte Energie kann durch Expansion des gespeicherten Druckgases durch die Flüssigkolbenvorrichtung später wiederum als ausgehende Antriebsenergie abgegeben werden, wobei die Flüssigkeitsantriebseinheit 20 dann als Hydraulikmotor dient, mit welchem ein Fahrzeug, eine Maschine oder ein Stromgenerator angetrieben werden kann. Die nachfolgende Beschreibung des Expansionsverfahrens stützt sich auf die Figur 1, bei welcher arbiträr davon ausgegangen wird, dass unter Druck stehendes Gas 13 in den zweiten Zylinder 10' auf der rechten Seite eingelassen wird. Dabei finden in diesem zweiten Zylinder 10' zuerst ein Einlassvorgang und dann ein Expansionsvorgang statt:

- Während des Einlassvorgangs ist das Hochdruckventil 12' des zweiten Zylinders 10' offen und das Niederdruckventil 11' geschlossen, sodass eine bestimmte Menge Gas 13 unter Hochdruck aus dem Gashochdruckreservoir 50 in den zweiten Zylinder 10' gelangt.
- Sobald sich die gewünschte Menge Gas 13 im Zylinder 10' befindet, startet der Expansionsvorgang. Während des Expansionsvorgangs sind das Hochdruckventil 12' und das Niederdruckventil 11' des zweiten Zylinders 10' geschlossen und das eingelassene, unter Hochdruck stehende Gas 13 expandiert sich darin.

[0021] Sowohl während des Einlassvorgangs als auch während des Expansionsvorgangs wird die sich im zweiten Zylinder 10' befindende Flüssigkeit 14 durch die Flüssigkeitsleitung 21 und durch die Flüssigkeitsantriebseinheit 20 getrieben, die dann als Hydraulikmotor dient. Die Flüssigkeit 14 gelangt dann in einen anderen Zylinder 10, 10', beispielsweise in den ersten Zylinder 10 auf der linken Seite der Figur 1, bei welchem das Hochdruckventil 12 geschlossen und das Niederdruckventil 11 offen ist. Das sich im ersten Zylinder 10 befindende Gas 13 wird dann durch die Niederdruckleitung 41 herausgetrieben und gelangt zum Gasniederdruckreservoir 40, welches dann als Gassenke dient. Sobald der erste Zylinder 10 mit Flüssigkeit 14 gefüllt ist, können die Nieder- und Hochdruckventile 11, 11', 12, 12' umgeschaltet werden, um das Expansionsverfahren mit dem Einlass und der Expansion des im Gashochdruckreservoir 50 gespeicherten Druckgases im ersten Zylinder 10 fortzusetzen und so weiter.

[0022] Von Vorteil ist es, wenn die Menge Gas 13, die beim Einlassvorgang in einen Zylinder 10, 10' hereingelassen wird, so kalibriert ist, dass nach dem Expansionsvorgang dieses Gases 13 in diesem Zylinder der andere Zylinder 10, 10' vollständig mit Flüssigkeit 14 gefüllt ist. Andernfalls findet nach dem Expansionsvorgang noch ein Flüssigkeitsausgleich statt, bei welchem zusätzliche Flüssigkeit 14 in den anderen Zylinder 10, 10' eingebracht wird, bis dieser vollständig gefüllt ist. Dabei sind bei beiden Zylindern 10, 10' die Niederdruckventile 11, 11' offen und die Hochdruckventile 12, 12' geschlossen.

[0023] Mit der Kompression und späteren Expansion von Gas 13 wird eine bidirektionale Flüssigkolbenvorrichtung bereitgestellt, mit welcher ähnlich wie mit einer Batterie Energie gespeichert und wieder freigegeben werden kann. Für die Flüssigkolbenvorrichtung bieten sich also zahlreiche Anwendungen an, wovon ein paar nachfolgend kurz erwähnt werden. Die temporäre Speicherung überschüssiger Energie ist eine der grössten Herausforderung der Stromerzeugung mit erneuerbaren Energiequellen, deren Leistung wetterabhängig ist (Sonne, Wind usw.) und dem tatsächlichen momentanen Leistungsbedarf nicht angepasst werden kann. Eine mögliche Anwendung der vorliegenden Flüssigkolbenvorrichtung ist also die Speicherung überschüssiger Energie (beispielsweise tagsüber, wenn die Sonne mittels einer Solaranlage Strom erzeugt, aber ein kleiner Energiebedarf vorliegt), die später (beispielsweise abends, wenn die Solaranlage keinen Strom mehr erzeugt aber ein grösserer Strombedarf vorliegt) verwendet werden kann. Mit der vorliegenden Flüssigkolbenvorrichtung kann beispielsweise auch ein wirtschaftliches Lastspitzenmanagement beim Bezug der elektrischen Energie bereitgestellt werden. Die Zwischenspeicherung von Energie erlaubt es, Energie zu Niederlastzeiten vom elektrischen Netzwerk zu beziehen und zu speichern, um diese bei Hochlastzeiten zu verbrauchen. Die erfindungsgemässe Flüssigkolbenvorrichtung findet in Industriebereichen, bei welchen Druckgas benötigt wird, noch weitere Anwendungen. So kann beispielsweise das für eine Maschine benötigte Druckgas im Voraus zu Niederlastzeiten hergestellt, bei höherem Druck zwischengespeichert und dann bei Hochlastzeiten wieder auf einem beliebig tieferem Druckniveau abgerufen werden. Da das Gas bei hohem Druck gespeichert wird, wird eine sinnvolle Energiedichte von bis zu 47 kWh/m³ bei 300 bar erreicht und das nötige Speichervolumen wird auf eine angemessene Grösse reduziert. Um die Volumenströme und Druckniveaus zu variieren und den Anforderungen anzupassen, können mehrere Stufen der Flüssigkolbenvorrichtung in Serie und/oder parallel verwendet werden.

[0024] Bei der Kompression des Gases wird ausserdem Wärme und bei der Expansion Kälte generiert (siehe Figur 3). Vorteilhaft ist die Flüssigkolbenvorrichtung in einem Verfahren einsetzbar, bei welchem Druckgas und gleichzeitig Wärme oder Kälte benötigt werden (siehe Figur 4). Dies ist beispielsweise in Anwendungen der Fall, bei welchen in Niederlastzeiten beim Laden des Druckgasspeichers mit der Wärme ein Prozess bedient oder ein Gebäude beheizt wird. Für die Verwendung der elektrischen Energie und Kälte während der Expansion gibt es viele Anwendungen, da der Bedarf von diesen zwei Energieformen meist zusammenfällt. Generell wird, wenn Strom benötigt wird, auch Kälte benötigt, z.B. zur Kühlung von Maschinen oder Data Centern, da Strom immer teilweise in Wärme umgewandelt wird. Eine weitere besonders vorteilhafte Anwendung der vorliegenden Flüssigkolbenvorrichtung ist bei der Stickstoffbereitstellung für Laserschneidmaschinen, wobei für die Maschine parallel zum Stickstoff auch Strom und Kälte benötigt wird.

[0025] Die vorgestellte Flüssigkolbenvorrichtung eignet sich auch zum Einsatz im Druckgasspeichersystem gemäss WO 2019219801 A1, bei dem ein Flüssigkolbensystem im Zusammenspiel mit einem mit Flüssigkeit gefüllten Druckgastank eine Speicherung von Gas bei konstantem Druck ermöglicht. Die vorliegende Flüssigkolbenvorrichtung kann dabei die ganze oder einen Teil der Funktion der Arbeitsmaschine und/oder der Verschiebevorrichtung einnehmen, die in der WO 2019219801 A1 beschrieben werden.

[0026] Um die Effizienz der Kompression zu steigern, soll das Totraumvolumen des komprimierten Gases 13 in den Zylindern 10, 10' minimiert werden. Das heisst, dass am Ende der Kompression in einem Zylinder 10, 10' möglichst kein Gas 13 mehr vorhanden ist und der Zylinder 10, 10' möglichst komplett mit Flüssigkeit 14 gefüllt ist. Dadurch wird verhindert, dass nach dem Ausschlebevorgang Gas 13 auf hohem Druckniveau wieder auf das Druckniveau des Gasniederdruckreservoir 40 expandiert, und dadurch Energie verloren wird. Dafür sollte ein Zylinder 10, 10' idealerweise genau bis zum damit verbundenen Hochdruckventil 12, 12' mit Flüssigkeit 14 gefüllt werden, nicht mehr und nicht weniger. Eine ganz genaue Befüllung des Zylinders 10, 10' ist aber nicht realisierbar, also wird der Zylinder 10, 10' in der Praxis entweder nicht komplett gefüllt oder der Zylinder 10, 10' wird überfüllt. Da die unvollständige Befüllung des Zylinders 10, 10' Totraumvolumen erzeugt und unerwünscht ist, wird erfindungsgemäss die Flüssigkeit 14 mindestens bis in die Hochdruckleitung 51 nach dem Hochdruckventil 12, 12' befördert (d.h. die Flüssigkeit 14 strömt durch das Hochdruckventil 12, 12' durch und geht noch weiter in die Hochdruckleitung 51). Das Totraumvolumen im Zylinder 10, 10' wird somit minimiert und ein optimaler Ausschlebevorgang des komprimierten Gases 13 in das Gashochdruckreservoir 50 wird sichergestellt. Um das Totraumvolumen noch weiter zu reduzieren, kann zusätzlich vorgesehen werden, dass die Hochdruckleitung 51 oder das Hochdruckventil 12, 12' am oberen Ende der Zylinder 10, 10' mündet, damit die Zylinder 10, 10' mit der Flüssigkeit 14 komplett gefüllt werden können.

[0027] Ähnliches gilt bei der Expansion: Um die Effizienz der Expansion zu steigern, soll das Totraumvolumen des restlichen Gases 13 in den Zylindern 10, 10' minimiert werden. Das heisst, dass zu Beginn des Expansionsverfahrens der Zylinder 10, 10' vor der Öffnung des entsprechenden Hochdruckventils 12, 12' möglichst komplett mit Flüssigkeit 14 gefüllt sein muss. Dadurch wird verhindert, dass Gas vom Gashochdruckreservoir 50 bei der Öffnung des Hochdruckventils 12, 12' in das sich noch im Zylinder 10, 10' befindende Gas 13 mit niedrigerem Druck auf tieferem Druckniveau expandiert, ohne Arbeit zu verrichten. Dafür ist erfindungsgemäss vorgesehen, dass die Flüssigkeit 14, die in den Zylinder 10, 10' eintritt und das sich darin befindende Gas 13 in das Gasniederdruckreservoir 40 schiebt, den Zylinder 10, 10' füllt und mindestens bis in die Niederdruckleitung 41 und nach dem Niederdruckventil 11, 11' befördert wird (d.h. die Flüssigkeit 14 strömt durch das Niederdruckventil 11, 11' durch und geht noch weiter in die Niederdruckleitung 41). Somit wird das Totraumvolumen in den Zylindern 10, 10' minimiert beziehungsweise ganz entfernt. Um das Totraumvolumen noch weiter zu reduzieren, kann zusätzlich vorgesehen werden, dass die Niederdruckleitung 41 oder das Niederdruckventil 11, 11' am oberen Ende der Zylinder 10, 10' mündet, damit die Zylinder 10, 10' mit der Flüssigkeit 14 komplett gefüllt werden können.

[0028] Die erfindungsgemässe Lösung, d.h. die Überfüllung eines Zylinders 10, 10' mit Flüssigkeit 14 bis zum damit verbundenen Hochdruck- bzw. Niederdruckventil 11, 11', 12, 12' zur Minimierung des Totraumvolumens im Zylinder 10, 10' kann zur Verbesserung der Effizienz der Kompression und/oder zur Verbesserung der Effizienz der Expansion unabhängig voneinander eingesetzt werden. Wenn die Flüssigkolbenvorrichtung nur als Kompressor zur Speicherung von Energie als Druckgas verwendet wird, kann es genügen, wenn nur während des Kompressionsverfahrens Flüssigkeit 14 bis zum Hochdruckventil 12, 12' getrieben wird. Wenn die Flüssigkolbenvorrichtung umgekehrt nur als Expander zum Bezug von gespeicherter Energie verwendet wird, kann es genügen, wenn nur während des Expansionsverfahrens Flüssigkeit 14 bis zum Niederdruckventil 11, 11' getrieben wird. Wenn die Flüssigkolbenvorrichtung bidirektional als Kompressor und Expander verwendet wird, kann die Massnahme beim Kompressionsverfahren und beim Expansionsverfahren eingesetzt werden.

[0029] Um aber sicherzustellen, dass keine Flüssigkeit 14 ins Gashochdruckreservoir 50 oder ins Gasniederdruckreservoir 40 gelangt, ist ein besonderes Flüssigkeitsmanagement-System vorgesehen. Damit wird für die Flüssigkeit 14 auch ein geschlossenes System bereitgestellt, aus welchem sie nicht entweichen kann und daher auch kein Nachfüllen nötig ist. Die Bereitstellung eines geschlossenen Systems ist für die Effizienz der Flüssigkolbenvorrichtung wichtig, weil jede unter Druck stehende Flüssigkeitsmenge, die über die Systemgrenze hinweg verloren geht, auch verlorene Druckenergie darstellt. Die in die Hoch- und/oder Niederdruckleitung 41, 51 getriebene Flüssigkeit 14 muss den Zylindern 10, 10' also intelligent zurückgeführt werden. Je nachdem, ob während des Kompressionsverfahrens Flüssigkeit 14 in die Hochdruckleitung 51 oder während des Expansionsverfahrens Flüssigkeit 14 in die Niederdruckleitung 41 getrieben wird, wird erfindungsgemäss entweder zwischen dem Hochdruckventil 12, 12' und dem Gashochdruckreservoir 50 oder zwischen

dem Niederdruckventil 11, 11' und dem Gasniederdruckreservoir 40 ein Flüssigkeitsabscheider 42, 52, beispielsweise ein Zyklonabscheider, angeordnet (siehe Figur 5). Wenn sowohl während des Kompressionsverfahrens Flüssigkeit 14 in die Hochdruckleitung 51 als auch während des Expansionsverfahrens Flüssigkeit 14 in die Niederdruckleitung 41 getrieben wird, wird sowohl zwischen dem Hochdruckventil 12, 12' und dem Gashochdruckreservoir 50 als auch zwischen dem Niederdruckventil 11, 11' und dem Gasniederdruckreservoir 40 jeweils ein Flüssigkeitsabscheider 42, 52 angeordnet. Jeder Flüssigkeitsabscheider 42, 52 ist mit einem Rücklauf 43, 53 verbunden, durch welchen die Flüssigkeit 14 vom Flüssigkeitsabscheider 42, 52 in einen der Zylinder 10, 10' zurückläuft. Die Flüssigkeit 14 kann in einen anderen Zylinder 10, 10' oder in den gleichen Zylinder 10, 10' zurücklaufen, aus welchem sie herausgetrieben wurde. Dafür muss aber der Druck im Zylinder 10, 10' niedriger sein als im Flüssigkeitsabscheider 42, 52. Die Flüssigkeit 14, die am Ende des Kompressionsverfahrens in die Hochdruckleitung 51 getrieben und durch den damit verbundenen Flüssigkeitsabscheider 52 aufgefangen wird, befindet sich zu diesem Zeitpunkt unter hohem Druck und kann beispielsweise unmittelbar in einen Zylinder 10, 10' zurücklaufen, in welchem kein Kompressionsverfahren stattfindet. Bevorzugt könnte diese Flüssigkeit 14 auch in einen Zylinder 10, 10' zurücklaufen, in welchem ein Kompressionsverfahren stattfindet, solange der Druck im Zylinder 10, 10' tiefer und eine ausreichende Druckdifferenz vorhanden ist. Die Flüssigkeit 14, die am Ende des Expansionsverfahrens in einem Zylinder 10, 10' in die mit dem anderen Zylinder 10, 10' verbundene Niederdruckleitung 41 getrieben und durch den damit verbundenen Flüssigkeitsabscheider 42 aufgefangen wird, befindet sich aber auf einem zu tiefem Druckniveau, um spontan wieder in einen Zylinder 10, 10' zurückzulaufen, also ist der entsprechende Rücklauf 43 mit einer ersten Pumpe 44 versehen, welche die Flüssigkeit 14 auf den für die Rückführung in die Zylinder 10, 10' benötigten Druck bringt.

[0030] Von Vorteil ist es, wenn mindestens ein Rücklauf 43, 53 eines Flüssigkeitsabscheiders 42, 52 zu einer Ventilgruppe 60 führt und nach der Ventilgruppe 60 mehrere Verzweigungen 61, 62, 63, 61', 62', 63' der Rückläufe 43, 53 zu einem Zylinder 10, 10' führen und an unterschiedlichen Stellen, beispielsweise auf unterschiedlichen Höhen, des Zylinders 10, 10' münden. Es können auch mehrere Verzweigungen 61, 62, 63, 61', 62', 63' der Rückläufe 43, 53 zu unterschiedlichen Stellen unterschiedlicher Zylinder 10, 10' führen. So zeigt beispielsweise die Figur 5 eine Ventilgruppe 60 mit sechs Verzweigungen 61, 61', 62, 62', 63, 63', wobei drei davon zu unterschiedlichen Stellen eines Zylinders 10, 10' führen und drei davon zu unterschiedlichen Stellen eines anderen Zylinders 10, 10' führen, beispielsweise jeweils am oberen Ende, in der Mitte und am unteren Ende der Zylinder 10, 10'. Es können auch nur zwei Verzweigungen zu jedem Zylinder 10, 10' führen, die beispielsweise am unteren und am oberen Ende des Zylinders 10, 10' münden. Mit der entsprechenden Steuerung der Ventilgruppe 60 kann der Zeitpunkt sowie der Zylinder 10, 10' und die Position am Zylinder 10, 10' der Rückführung der Flüssigkeit aus dem Flüssigkeitsabscheider 42, 52 beliebig bestimmt werden. Der ideale Zeitpunkt für diese Rückführung ist, wenn der Druckunterschied zwischen dem Flüssigkeitsabscheider 42, 52 und dem Zylinder 10, 10' möglichst gering ist. Somit geht aus dem ersten Flüssigkeitsabscheider 52 auf der Seite des Gashochdruckreservoirs 50 am wenigsten Energie verloren und die mit dem zweiten Flüssigkeitsabscheider 42 verbundene erste Pumpe 44 muss am wenigsten Energie aufwenden.

[0031] Zusätzliche, optionale Lösungen zur weiteren Minimierung des Torraumvolumens sind die Verengung des oberen Teils der Zylinder 10, 10', damit das Gas 13 während des Ausschleibevorgangs in Richtung der Hoch- und Niederdruckventile 11, 11', 12, 12' geleitet wird. Weil dies aber für beide Ventile 11, 11', 12, 12' des Zylinders 10, 10' sichergestellt werden muss, entstehen gewisse Räume, wo sich das Gas 13 von der Flüssigkeit 14 einschliessen lässt, statt in die Hoch- und Niederdruckleitungen 41, 51 geschoben zu werden und somit Totraumvolumen generiert. Um diesen Effekt zu reduzieren, kann am oberen Ende des Zylinders 10, 10' bei den Hoch- und Niederdruckventilen 11, 11', 12, 12' ein Verwirbelungskörper 80 angebracht werden (siehe Figur 9). Dieser erzeugt eine Verwirbelung in der Strömung am oberen Ende des Zylinders 10, 10', insbesondere die Verwirbelung der Trennschicht zwischen Flüssigkeit 14 und Gas 13. Dadurch wird die Flüssigkeit 14 besser verteilt und das Totraumvolumen des Gases 13 wird reduziert. Der Verwirbelungskörper 80 kann eine beliebige Geometrie aufweisen, da er durch seine bloße Anwesenheit bereits die Flüssigkeitsströmung beeinflusst und darin Verwirbelungen erzeugt. Eine bevorzugte Form des Verwirbelungskörpers 80 ist kugelförmig.

[0032] Von Vorteil ist es ausserdem, wenn eine möglichst isotherme Kompression und Expansion bereitgestellt wird. Dadurch können mit der Flüssigkolbenvorrichtung höhere Druckverhältnisse realisiert werden, ohne dass sich das Gas 13 bei der Kompression zu stark erwärmt beziehungsweise bei der Expansion zu stark abkühlt. Damit können das Verdampfen und das Erstarren der Flüssigkeit 14 sowie das Kondensieren des Gases 13 verhindert werden. Um eine quasi-isotherme Kompression und Expansion zu erreichen, muss also ein möglichst guter Wärmeaustausch zwischen dem Gas 13 und dessen Umgebung ermöglicht werden. Ein gewisser Wärmeaustausch findet bei der Flüssigkolbenvorrichtung direkt durch die Grenzschicht zwischen Gas 13 und Flüssigkeit 14 bereits statt. Um diesen Wärmeaustausch jedoch zu erhöhen, kann die Flüssigkolbenvorrichtung ein besonderes Wärmemanagement-System umfassen. So kann ein Wärmespeicher 15, 15' in einem Zylinder 10, 10' angeordnet werden, der bei der Kompression zusätzliche Wärme aufnimmt beziehungsweise bei der Expansion zusätzliche Wärme abgibt. Das Konzept des Flüssigkolbens ermöglicht das Anbringen eines Wärmespeichers 15, 15' in Form eines Festkörpers direkt im Kompressions- beziehungsweise Expansionsraum. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber herkömmlichen Kolbenkompressions- und -expansionsmaschinen mit festen Kolben. Der Wärmespeicher 15, 15' ist vorzugsweise im oberen Bereich der Zylinder 10, 10' angeordnet, weil in diesem Bereich der Kompression beziehungsweise Expansion die grössten Energieflüsse stattfinden: Die grösste Erwärmung des Gases 13 findet am Ende der Kompression statt, wenn der Zylinder 10, 10' bereits teilweise mit Flüssigkeit gefüllt ist und das Gas 13 sich in seinem oberen Bereich befindet. Analog findet die grösste Abkühlung am Anfang der Expansion statt, sobald das unter Druck stehende Gas 13 sich am Anfang des Expansionsvorgangs im oberen Bereich des mit Flüssigkeit

14 befüllten Zylinders expandiert. Dadurch kann auch Wärmespeicher Material im unteren Bereich der Zylinder 10, 10' gespart und somit die Kosten gesenkt werden. Bei der Kompression wird der Wärmespeicher 15, 15' in einem ersten Schritt vom sich erwärmenden Gas 13 aufgewärmt. Sobald die Flüssigkeit 14 den Wärmespeicher 15, 15' umströmt, wird in einem zweiten Schritt die aufgenommene Wärme der Flüssigkeit 14 weitergegeben. Analog wird bei der Expansion zuerst Wärme vom Wärmespeicher 15, 15' an das sich abkühlende Gas 13 übertragen. Die Flüssigkeit 14 erwärmt im nächsten Expansionszyklus, der in einem anderen Zylinder 10, 10' stattfindet, dann wieder den Wärmespeicher 15, 15', sobald der Zylinder mit der Flüssigkeit 14 gefüllt wird. Das Material des Wärmespeichers weist vorzugsweise eine hohe Wärmekapazität sowie einen grossen Wärmeübertragungskoeffizienten auf und ist daher vorzugsweise ein Metall. Weiter soll das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen maximal sein, um den Wärmeübergang weiter zu begünstigen. Zudem sind für ein geeignetes Design des Wärmespeichers 15, 15' Eigenschaften wie ein tiefes Flüssigkeitsrückhaltevermögen, ein geringer Druckverlust, einfache Fertigung und optimierte Kosten zu berücksichtigen. Versuche haben gezeigt, dass ein Wärmespeicher aus Stahlwolle beispielsweise gut geeignet ist.

[0033] Die Flüssigkeit 14 führt die Wärme des komprimierten Gases bzw. die Kälte des expandierten Gases durch Kontakt mit den Wänden der Zylinder 10, 10' und den anderen Komponenten der Flüssigkolbenvorrichtung (Flüssigkeitsleitung 21, Flüssigkeitsantriebseinheit 20, Hoch- und Niederdruckventile 11, 11', 12, 12' usw.) bereits ab. Um Wärme bei der Kompression noch besser abzuführen beziehungsweise Wärme bei der Expansion noch kontrollierter hinzuzuführen, kann in der Flüssigkeitsleitung 21 ein erster Wärmetauscher 22 integriert werden (siehe Figur 6). Über den ersten Wärmetauscher 22 kann bei der Kompression ein externer Kreislauf durch Zufuhr von Wärme geheizt und analog bei der Expansion durch Entnahme von Wärme gekühlt werden.

[0034] Beim Befüllen der Zylinder 10, 10' mit Flüssigkeit 14 wird die Flüssigkeit durch die Flüssigkeitsleitung 21 vorzugsweise von unten nach oben in die Zylinder 10, 10' hineinbefördert beziehungsweise hineingespritzt. Dadurch entsteht der Nachteil, dass die Flüssigkeit 14 direkt auf den Wärmespeicher 15, 15' gespritzt wird und diesen teilweise mit Flüssigkeit 14 befüllt, bevor der steigende Flüssigkeitspegel den Wärmespeicher 15, 15' erreicht. Dadurch wird der Wärmeaustausch zwischen Wärmespeicher 15, 15' und dem Gas 13 reduziert. Noch schlimmer ist es, wenn der Wärmespeicher 15, 15' nah aneinander liegende Oberflächen aufweist und der dazwischen liegende Raum mit Flüssigkeit gefüllt wird. In diesem Fall wird die Wirkung des Wärmespeichers 15, 15' quasi neutralisiert, weil die Kontaktfläche zwischen dem Wärmespeicher 15, 15' und dem Gas 13 stark reduziert, der Wärmeaustausch wesentlich beeinträchtigt und der isotherme Charakter des Prozesses wesentlich reduziert wird. Daher ist einerseits ein tiefes Flüssigkeitsrückhaltevermögen des Wärmespeichers 15, 15' bevorzugt, um so bei sinkendem Flüssigkeitspegel die zwischen den Oberflächen liegenden Räume möglichst schnell und komplett wieder zu leeren und mit Gas zu befüllen. Um dies zu vermeiden, kann in einem Zylinder 10, 10' ein Prallblech 16, 16' angeordnet werden, beispielsweise beim Eintritt der Flüssigkeit 14, 14' am unteren Ende der Zylinder 10, 10', auf welchen die eintretende Flüssigkeit 14 aufprallt. Dadurch wird sichergestellt, dass unabhängig von der Eintrittsgeschwindigkeit der Flüssigkeit 14 ein kontrolliert steigender Flüssigkeitspegel im Zylinder 10, 10' realisiert wird und die Flüssigkeit 14, 14' nicht unerwünscht frühzeitig in Kontakt mit dem Wärmespeicher 15, 15' kommt. In gewissen Fällen, beispielsweise wenn die Flüssigkolbenvorrichtung zur Wärme- oder Kälteerzeugung verwendet wird und das Gas 13 also auf ein höheres beziehungsweise tieferes Temperaturniveau zu bringen ist, kann es allerdings von Vorteil sein, wenn der isotherme Charakter des Prozesses steuerbar ist. In diesem Fall können bei der Flüssigkeitsleitung 21 zum Beispiel zwei Eintritte für die Flüssigkeit 14 in jeden Zylinder 10, 10' vorgesehen werden, die mit einem Ventil 17, 17' steuerbar sind: einen ersten Eintritt mit einem Prallblech 16, 16' für den kontrolliert steigenden Flüssigkeitspegel und einen zweiten Eintritt, durch den die Flüssigkeit 14 absichtlich frühzeitig mit dem Wärmespeicher 15, 15' in Kontakt kommt (siehe Figur 6). Somit gibt es eine weitere Stellgrösse, den Kompressionsvorgang zwischen dem isothermen Prozess (d.h. mit konstanter Temperatur dank des Wärmeaustausches) und dem adiabaten Prozess (mit Erwärmung bei der Kompression und Abkühlung bei der Expansion aufgrund des fehlenden Wärmeaustausches) zu kontrollieren.

[0035] Es besteht eine andere Methode, um die Wirkung des Wärmespeichers und daher den isothermen Charakter des Prozesses zu steuern. Ein oder mehrere Rückläufe 43, 53 der Flüssigkeitsabscheider 42, 52 können wie oben bereits beschrieben zu einer Ventilgruppe 60 führen und nach der Ventilgruppe 60 können mehrere Verzweigungen 61, 61', 62, 62', 63, 63' der Rückläufe 43, 53 zu Mündungen an verschiedenen Stellen der Zylinder 10, 10' führen, insbesondere zu einer ersten Mündung, wodurch die zurückgeführte Flüssigkeit 14 auf den Wärmespeicher 15, 15' spritzt und zu einer zweiten Mündung, wodurch die zurückgeführte Flüssigkeit nicht auf den Wärmespeicher 15, 15' spritzt. Zum Beispiel könnte die Flüssigkeitsrückführung zu einem Zylinder 10, 10' steuerbar oberhalb, unterhalb oder auf der Höhe des Wärmespeichers 15, 15' erfolgen. Somit kann je nach Temperatur der Flüssigkeit 14 und des Wärmespeichers 15, 15' dieser bei Bedarf aufgeheizt beziehungsweise abgekühlt werden. Somit entsteht eine weitere Stellgrösse für die Steuerung der Wärmeflüsse bei der Kompression beziehungsweise Expansion. Denkbar ist ebenfalls die Besprühung der in den Zylinder 10, 10' zurückgeführten Flüssigkeit 14 ins sich darin befindende Gas 13 in Form von Tröpfchen, beispielsweise über eine Verzweigung 61, 61', 62, 62', 63, 63', die in der Mitte des leeren Raums unter dem Wärmespeicher 15, 15' mündet. Die Besprühung der Flüssigkeit 14 in Form von Tröpfchen maximiert die Kontaktfläche zwischen Gas 13 und Flüssigkeit 14 und somit auch den Wärmeaustausch. Diese Methoden können kumulativ oder alternativ zur oben beschriebenen Methode mit dem Prallblech 16, 16' eingesetzt werden.

[0036] Gewisse Ausführungsformen der Flüssigkeitsantriebseinheit 20 weisen beim Betrieb einen Leckagestrom der Flüssigkeit 14 auf. In diesem Fall kann die Flüssigkolbenvorrichtung ein Managementsystem für die Leckageflüssigkeit aufweisen.

[0037] Der Leckagestrom kann beispielsweise über eine Leckageleitung 71 in einen Leckagebehälter 70 geführt werden, welcher ein tieferes Druckniveau aufweist (siehe Figur 7). Um den Flüssigkeitskreislauf zu schliessen, kann die Flüssigkeit 14 mittels einer zweiten Pumpe 73 wieder auf den nötigen Druck gebracht und anschliessend über einen dritten Rücklauf 72 zu den Zylindern 10, 10' zurückgeführt werden. Wenn die Flüssigkolbenvorrichtung eine Ventilgruppe 60 aufweist, mit welcher Flüssigkeit 14 aus den Flüssigkeitsabscheidern 42, 52 in die Zylinder 10, 10' zurückgeführt wird, kann der dritte Rücklauf 72 zu dieser Ventilgruppe 60 führen und die Leckageflüssigkeit zusammen mit der Flüssigkeit 14 aus den Flüssigkeitsabscheidern 42, 52 in die Zylinder 10, 10' zurückgeführt werden. Die Flüssigkeit 14 im Leckagebehälter 70 ermöglicht zusätzlich einen geeigneteren Wärmeaustausch mit einem externen Kreislauf, da diese Flüssigkeit 14 auf tieferem Druckniveau ist. Es kann also eine dritte Pumpe 76 vorgesehen werden, welche die Flüssigkeit 14 aus dem Leckagebehälter 70 durch einen zweiten Wärmetauscher 75 befördert und wieder in den Leckagebehälter 70 zurückführt. Durch den niedrigeren Druck in diesem Kreislauf wird die Ausführungsform des Wärmetauschers 75 einfacher und kostengünstiger. Durch diese dritte Pumpe 76 kann der Fluss durch den zweiten Wärmetauscher 75 unabhängig gesteuert werden. Alternativ kann der zweite Wärmetauscher 75 direkt in der Leckageleitung 71 oder im dritten Rücklauf 72 platziert werden, um so den Bedarf der dritten Pumpe 76 zu verhindern. Wenn ein Leckagebehälter 70 vorhanden ist, kann die Flüssigkolbenvorrichtung weiter vereinfacht werden, indem die Rückführung der Flüssigkeit aus dem Flüssigkeitsabscheider 42 auf der Niederdruckseite durch die Flüssigkeitsleitung 77 direkt in den Leckagebehälter 70 erfolgt. Es ist somit keine separate erste Pumpe 44 und entsprechende Rückführung 43 nötig. Jedoch muss der Druck im Flüssigkeitsabscheider 42 auf der Niederdruckseite höher sein als im Leckagebehälter 70.

[0038] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist die Messung des Drucks und des Zustands in der Flüssigkolbenvorrichtung, welche für ihre Steuerung von Vorteil sein kann. Grundsätzlich können die Werte vom Druck sowie vom Zustand in den Zylindern 10, 10', in den Flüssigkeitsabscheidern 42, 52 und im Leckagebehälter 70 zur besseren Steuerung der Flüssigkolbenvorrichtung beitragen. Da alle Behälter immer mindestens zu einem kleinen Teil mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, kann der Druck mit den Drucksensoren P1, P2, P3, P4, P5 bei Bedarf am unteren Ende in der Flüssigkeit gemessen werden (siehe Figur 8). Damit ist die Druckmessung mehr gedämpft, weil durch die Trägheit der Flüssigkeit ungewollte Schwankungen in der Druckmessung gefiltert werden. Eine effiziente Flüssigkeitsstandmessung in Flüssigkolbensystemen ist generell eine Herausforderung, insbesondere wenn ein Wärmespeicher 15, 15' im Inneren der Zylinder 10, 10' angebracht ist. Die vorliegende Erfindung löst dies effizient und kostengünstig mit je zwei Flüssigkeitslevelsensoren L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8 auf verschiedenen Höhen in den Zylindern 10, 10' und in den Flüssigkeitsabscheidern 42, 52, beispielsweise mit einem Flüssigkeitslevelsensoren am oberen Ende und einem Flüssigkeitslevelsensoren am unteren Ende der Zylinder 10, 10'. Falls ein Leckagebehälter 70 vorhanden ist, kann dieser auch mit zwei Flüssigkeitslevelsensoren L9, L10 auf verschiedenen Höhen versehen werden. Damit kann in jedem dieser Behälter in Bezug auf den Pegel der Flüssigkeit 14 jeweils der maximale beziehungsweise minimale Zustand detektiert werden. Die weiteren Zustände des Flüssigkeitspegels in den Zylindern 10, 10' können mithilfe der Position bzw. des Zustandes der Welle der Flüssigkeitsantriebseinheit 20, z.B. mit einem Sensor für die Anzahl Umdrehungen N1, genau genug abgeschätzt werden. Durch die Information der Anzahl Umdrehungen kann die Menge der beförderten Flüssigkeit 14 aus oder in die Zylinder 10, 10' bestimmt werden und somit mit den durch die Flüssigkeitslevelsensoren L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10 bestimmten maximalen und minimalen Zustände eine kontinuierliche Abschätzung des Flüssigkeitspegels gemacht werden. Somit wird der Zustand der Flüssigkolbenvorrichtung mit den Drucksensoren, den einfachen Flüssigkeitslevelsensoren und dem Sensor für die Anzahl Umdrehungen N1 detektierbar und die Flüssigkolbenvorrichtung wird mit den Flüssigkeitspumpen und Ventilen optimal steuerbar.

[0039] Die Flüssigkeitsantriebseinheit 20 ist vorzugsweise so aufgebaut, dass ihre Fliess- und Drehrichtung unabhängig vom Betriebsmodus Kompression oder Expansion immer die gleiche ist. Dadurch wird die Komplexität reduziert und Komponenten sowie Kosten können eingespart werden. Dafür kann die Flüssigkeitsantriebseinheit 20 Ventile umfassen, mit welchen die Fliessrichtung der Flüssigkeit 14 beliebig gesteuert wird. Die Flüssigkeitsantriebseinheit 20 kann eine Hydraulikpumpe und ein Hydraulikmotor umfassen, die für die Kompression und für die Expansion alternativ zum Einsatz kommen, oder eine reversible Hydraulikpumpe umfassen, die gleichzeitig auch als Hydraulikmotor dienen kann.

Patentansprüche

1. Flüssigkolbenvorrichtung umfassend mindestens zwei Zylinder (10, 10'), eine Flüssigkeitsleitung (21), die die Zylinder (10, 10') miteinander verbindet, eine Flüssigkeitsantriebseinheit (20), mit welcher eine Flüssigkeit (14) von einem Zylinder (10, 10') zum anderen Zylinder (10, 10') beförderbar ist, ein Gasniederdruckreservoir (40), das über eine Niederdruckleitung (41) mit jedem Zylinder (10, 10') verbunden ist, ein Niederdruckventil (11, 11') für jeden Zylinder (10, 10'), mit welchem die Niederdruckleitung (41) zum Zylinder (10, 10') geöffnet und geschlossen werden kann, ein Gashochdruckreservoir (50), das über eine Hochdruckleitung (51) mit jedem Zylinder (10, 10') verbunden ist, und

CH 721 148 A1

ein Hochdruckventil (12, 12') für jeden Zylinder (10, 10'), mit welchem die Hochdruckleitung (51) zum Zylinder (10, 10') geöffnet und geschlossen werden kann, gekennzeichnet durch

einen ersten Flüssigkeitsabscheider (42, 52) zur Trennung von darin eintretender Flüssigkeit (14) von darin eintretendem Gas (13), der durch einen ersten Rücklauf (43, 53) für die abgetrennte Flüssigkeit (14) mit einem der Zylinder (10, 10') verbunden ist und der:

– entweder zwischen dem Hochdruckventil (12, 12') und dem Gashochdruckreservoir (50) angeordnet ist, in welchem Fall der erste Flüssigkeitsabscheider (42, 52) zur Trennung der Flüssigkeit (14) und des Gases (13), die durch die Hochdruckleitung (51) in den ersten Flüssigkeitsabscheider (42, 52) eintreten, geeignet ist,

– oder zwischen dem Niederdruckventil (11, 11') und dem Gasniederdruckreservoir (40) angeordnet ist, in welchem Fall der erste Flüssigkeitsabscheider (42, 52) zur Trennung der Flüssigkeit (14) und des Gases (13), die durch die Niederdruckleitung (41) in den ersten Flüssigkeitsabscheider (42, 52) eintreten, geeignet ist, wobei in diesem Fall zur Beförderung der abgetrennten Flüssigkeit (14) zu einem der Zylinder (10, 10') eine erste Pumpe (44) auf dem ersten Rücklauf (43, 53) vorgesehen ist.

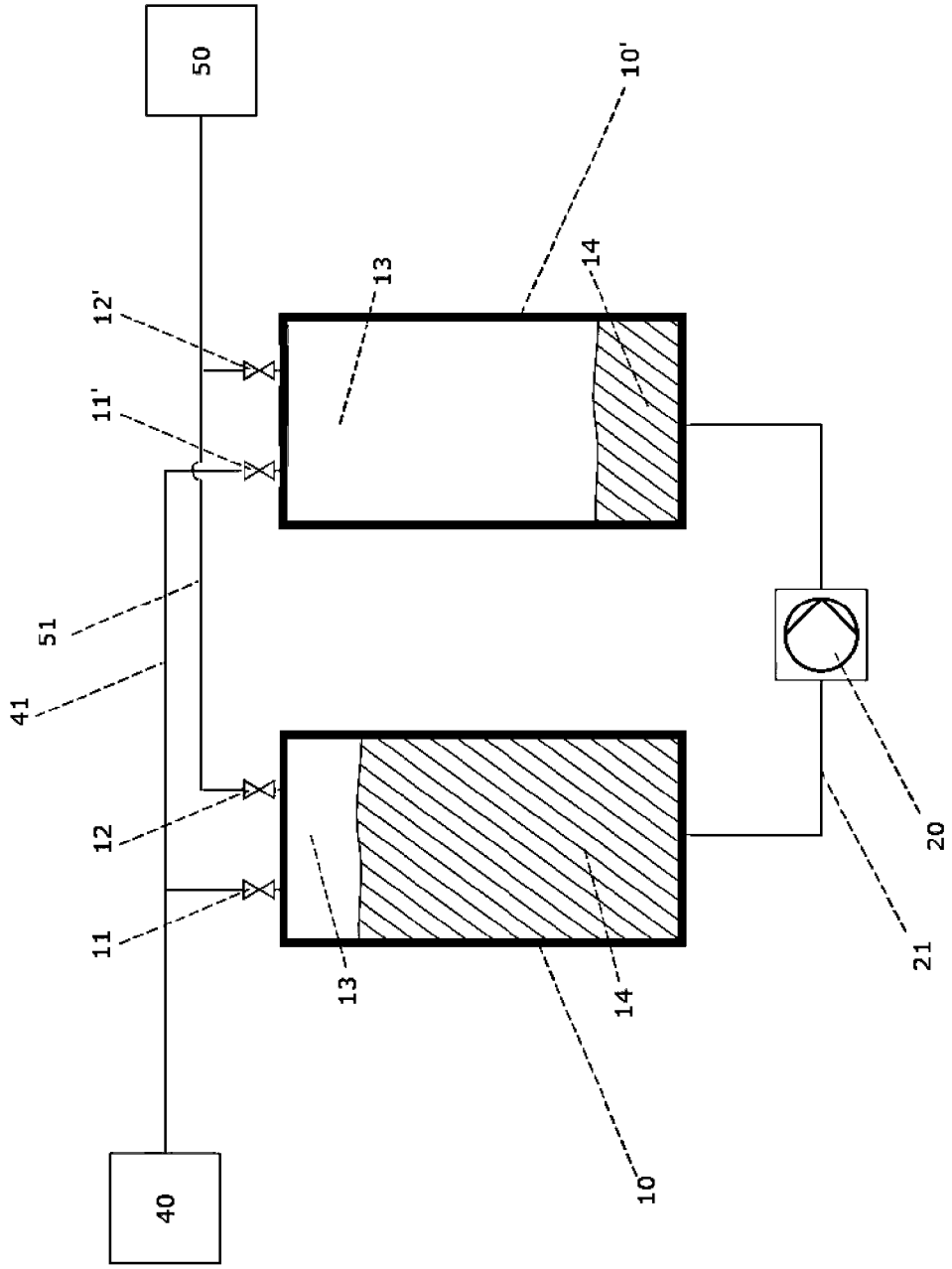
2. Flüssigkolbenvorrichtung gemäss Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen ersten Flüssigkeitsabscheider (52) zur Trennung der Flüssigkeit (14) und des Gases (13), die durch die Hochdruckleitung (51) darin eintreten, der zwischen dem Hochdruckventil (12, 12') und dem Gashochdruckreservoir (50) angeordnet ist und durch einen ersten Rücklauf (53) für die abgetrennte Flüssigkeit (14) mit einem der Zylinder (10, 10') verbunden ist, und einen zweiten Flüssigkeitsabscheider (42) zur Trennung der Flüssigkeit (14) und des Gases (13), die durch die Niederdruckleitung (41) darin eintreten, der zwischen dem Niederdruckventil (11, 11') und dem Gasniederdruckreservoir (40) angeordnet ist und durch einen zweiten Rücklauf (43) für die abgetrennte Flüssigkeit (14) mit einem der Zylinder (10, 10') verbunden ist, wobei zur Beförderung der abgetrennten Flüssigkeit (14) zu einem der Zylinder (10, 10') eine erste Pumpe (44) auf den zweiten Rücklauf (43) vorgesehen ist.
3. Flüssigkolbenvorrichtung gemäss dem Anspruch 1 oder gemäss dem Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Rücklauf (43, 53) zu einer Ventilgruppe (60) führt und nach der Ventilgruppe (60) mehrere Verzweigungen (61, 61', 62, 62', 63, 63') des Rücklaufs (43, 53) zu einem Zylinder (10, 10') führen und an unterschiedlichen Stellen des Zylinders (10, 10') münden.
4. Flüssigkolbenvorrichtung gemäss einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils zwei Flüssigkeitslevelsensoren (L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8) auf zwei verschiedenen Höhen in den Zylindern (10, 10') und/oder in den Flüssigkeitsabscheidern (42, 52) angebracht sind, und dass die Flüssigkeitsantriebseinheit (20) mit einem Sensor für die Anzahl Umdrehungen (N1) zur Bestimmung der Menge der beförderten Flüssigkeit (14) aus oder in die Zylinder (10, 10') versehen ist.
5. Flüssigkolbenvorrichtung gemäss einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass am oberen Ende eines Zylinders (10, 10') bei den Hoch- und Niederdruckventilen (11, 11', 12, 12') ein Verwirbelungskörper (80) angebracht ist.
6. Flüssigkolbenvorrichtung gemäss Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass im oberen Bereich eines Zylinders (10, 10') ein Wärmespeicher (15, 15') angeordnet ist, eine Verzweigung (61, 61', 62, 62', 63, 63') im Zylinder (10, 10') an einer Stelle mündet, von welcher im Betrieb die zurückgeführte Flüssigkeit (14) auf den Wärmespeicher (15, 15') gelangt, und eine andere Verzweigung (61, 61', 62, 62', 63, 63') im Zylinder (10, 10') an einer anderen Stelle mündet, von welcher im Betrieb die zurückgeführte Flüssigkeit (14) nicht auf den Wärmespeicher (15, 15') gelangt.
7. Flüssigkolbenvorrichtung gemäss einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass im oberen Bereich eines Zylinders (10, 10') ein Wärmespeicher (15, 15') angeordnet ist, und ein Prallblech (16) an der Mündung der Flüssigkeitsleitung (21) im Zylinder (10, 10') derart angeordnet ist, dass im Betrieb die durch die Flüssigkeitsleitung (21) in den Zylinder (10, 10') eintretende Flüssigkeit (14) auf das Prallblech (16) aufprallt und nicht direkt auf den Wärmespeicher (15, 15') gelangt.
8. Flüssigkolbenvorrichtung gemäss Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeitsleitung (21) zwei Eintritte für die Flüssigkeit (14) in einem Zylinder (10, 10') aufweist, die mit einem Ventil (17, 17') steuerbar sind: einen ersten Eintritt, der mit einem Prallblech (16) versehen ist, und einen zweiten Eintritt ohne Prallblech (16), der so orientiert ist, dass im Betrieb die eintretende Flüssigkeit (14) direkt auf den Wärmespeicher (15, 15') gelangt.
9. Flüssigkolbenvorrichtung gemäss einem der Ansprüche 1 bis 8,

dadurch gekennzeichnet, dass

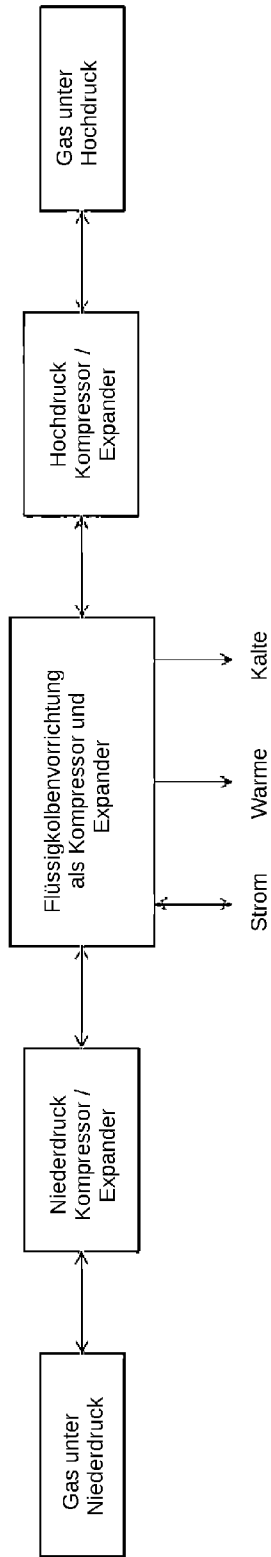
die Flüssigkeitsantriebseinheit (20) beim Betrieb einen Leckagestrom der Flüssigkeit (14) aufweist, die Flüssigkeitsantriebseinheit (20) über eine Leckageleitung (71) mit einem Leckagebehälter (70) verbunden ist, eine zweite Pumpe (73) und ein dritter Rücklauf (72) vorgesehen sind, mit welchen die Flüssigkeit (14) vom Leckagebehälter (70) zu einem Zylinder (10, 10') zurückführbar ist, eine dritte Pumpe (76) vorgesehen ist, mit welcher die Flüssigkeit (14) aus dem Leckagebehälter (70) durch einen zweiten Wärmetauscher (75) beförderbar und wieder in den Leckagebehälter (70) zurückführbar ist.

10. Flüssigkolbenvorrichtung gemäss einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeitsantriebseinheit (20) Ventile umfasst, mit welchen die Fliessrichtung der Flüssigkeit (14) innerhalb der Flüssigkeitsantriebseinheit (20) derart steuerbar ist, dass die Fliessrichtung der Flüssigkeit (14) in der Flüssigkeitsantriebseinheit (20) und somit die Drehrichtung der Flüssigkeitsantriebseinheit (20) immer die gleiche ist.
11. Verfahren zur Kompression eines Gases mit der Flüssigkolbenvorrichtung gemäss Anspruch 1, wobei der erste Flüssigkeitsabscheider (52) zwischen dem Hochdruckventil (12, 12') und dem Gashochdruckreservoir (50) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeitsantriebseinheit (20) eine Flüssigkeit (14) durch die Flüssigkeitsleitung (21) von einem ersten Zylinder (10, 10') in einen zweiten Zylinder (10, 10') befördert, sodass sich das im zweiten Zylinder (10, 10') befindende Gas (13) durch die Flüssigkeit (14) komprimiert und durch die Hochdruckleitung (51) ins Gashochdruckreservoir (50) geschoben wird, wobei die Flüssigkeit (14) nach Befüllung des zweiten Zylinders (10, 10') mindestens bis in die Hochdruckleitung (51) nach dem Hochdruckventil (12, 12') hineinbefördert wird.
12. Verfahren zur Expansion eines Gases mit der Flüssigkolbenvorrichtung gemäss Anspruch 1, wobei der erste Flüssigkeitsabscheider (42) zwischen dem Niederdruckventil (11, 11') und dem Gasniederdruckreservoir (40) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass unter Druck stehendes Gas (13) aus dem Gashochdruckreservoir (50) in einen zweiten Zylinder (10, 10') eingelassen wird und das Gas (13) sich darin expandiert, wodurch Flüssigkeit (14) aus dem zweiten Zylinder (10, 10') durch die Flüssigkeitsleitung (21), durch die Flüssigkeitsantriebseinheit (20) und bis in einen ersten Zylinder (10, 10') getrieben wird, wobei die Flüssigkeit (14) nach Befüllung des ersten Zylinders (10, 10') mindestens bis in die Niederdruckleitung (41) nach dem Niederdruckventil (11, 11') hineinbefördert wird.
13. Verwendung der Flüssigkolbenvorrichtung gemäss Anspruch 1 zur Speicherung von Energie als Druckgas und späteren Freigabe der gespeicherten Energie.
14. Verwendung der Flüssigkolbenvorrichtung gemäss Anspruch 13 zum Lastspitzenmanagement in einem elektrischen Netzwerk, wobei zu Niederlastzeiten Energie vom elektrischen Netzwerk bezogen wird, um die Flüssigkeitsantriebseinheit (20) anzutreiben und komprimiertes Gas im Gashochdruckreservoir (50) zu speichern und zu Hochlastzeiten komprimiertes Gas aus dem Gashochdruckreservoir (50) expandiert wird, um die Flüssigkeitsantriebseinheit (20) als Hydraulikmotor anzutreiben und Energie ins elektrische Netzwerk einzuspeisen.
15. Verwendung der Flüssigkolbenvorrichtung gemäss Anspruch 1 zur gleichzeitigen Bereitstellung von Druckgas, elektrischer Energie und Kälte für eine Maschine.

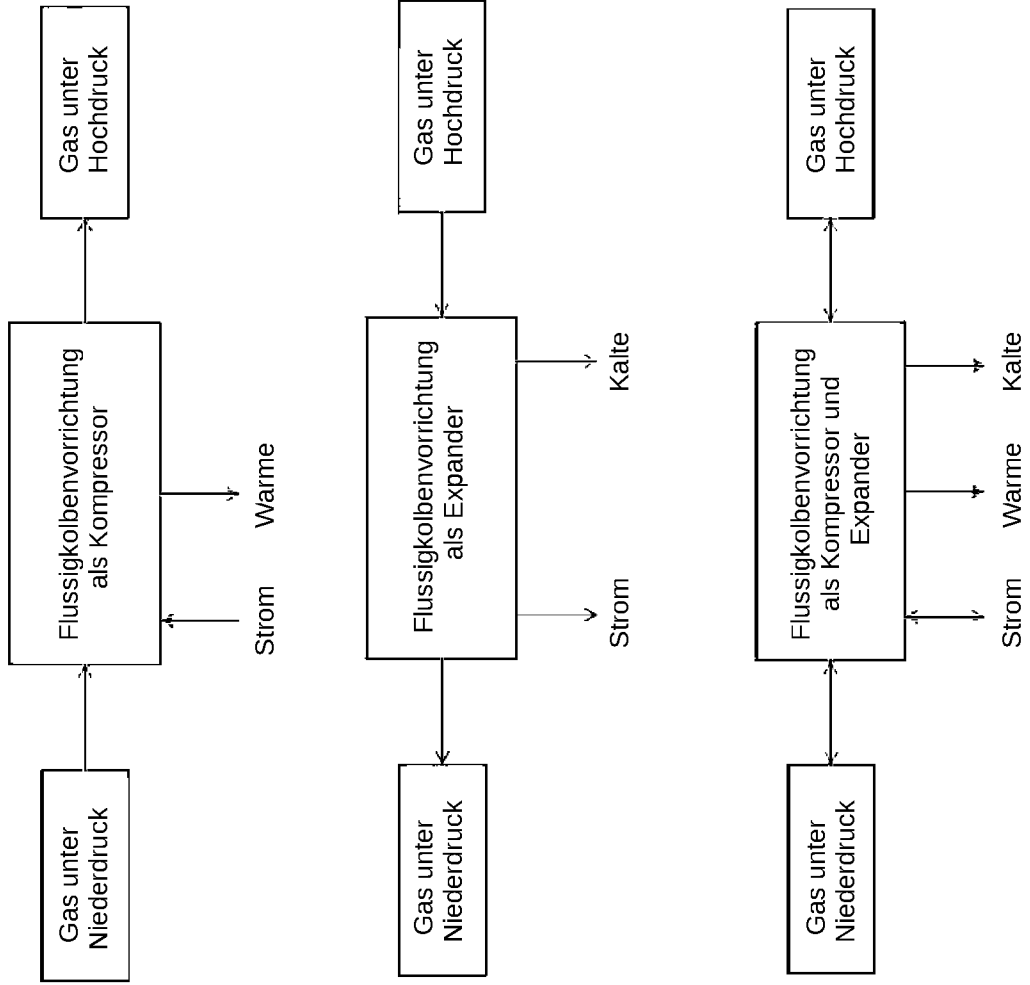
Figur 1



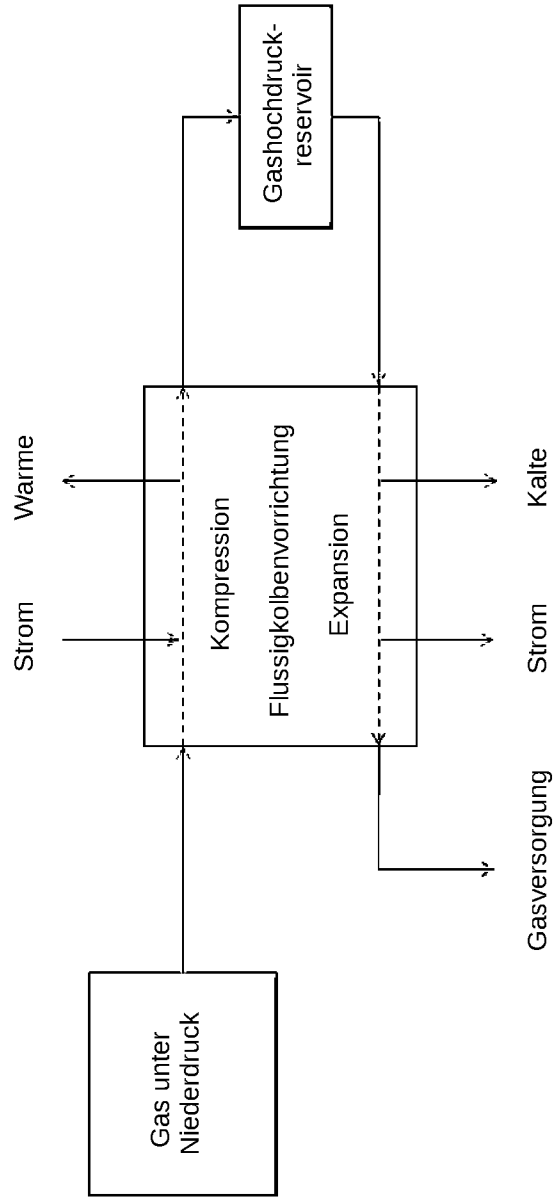
Figur 2

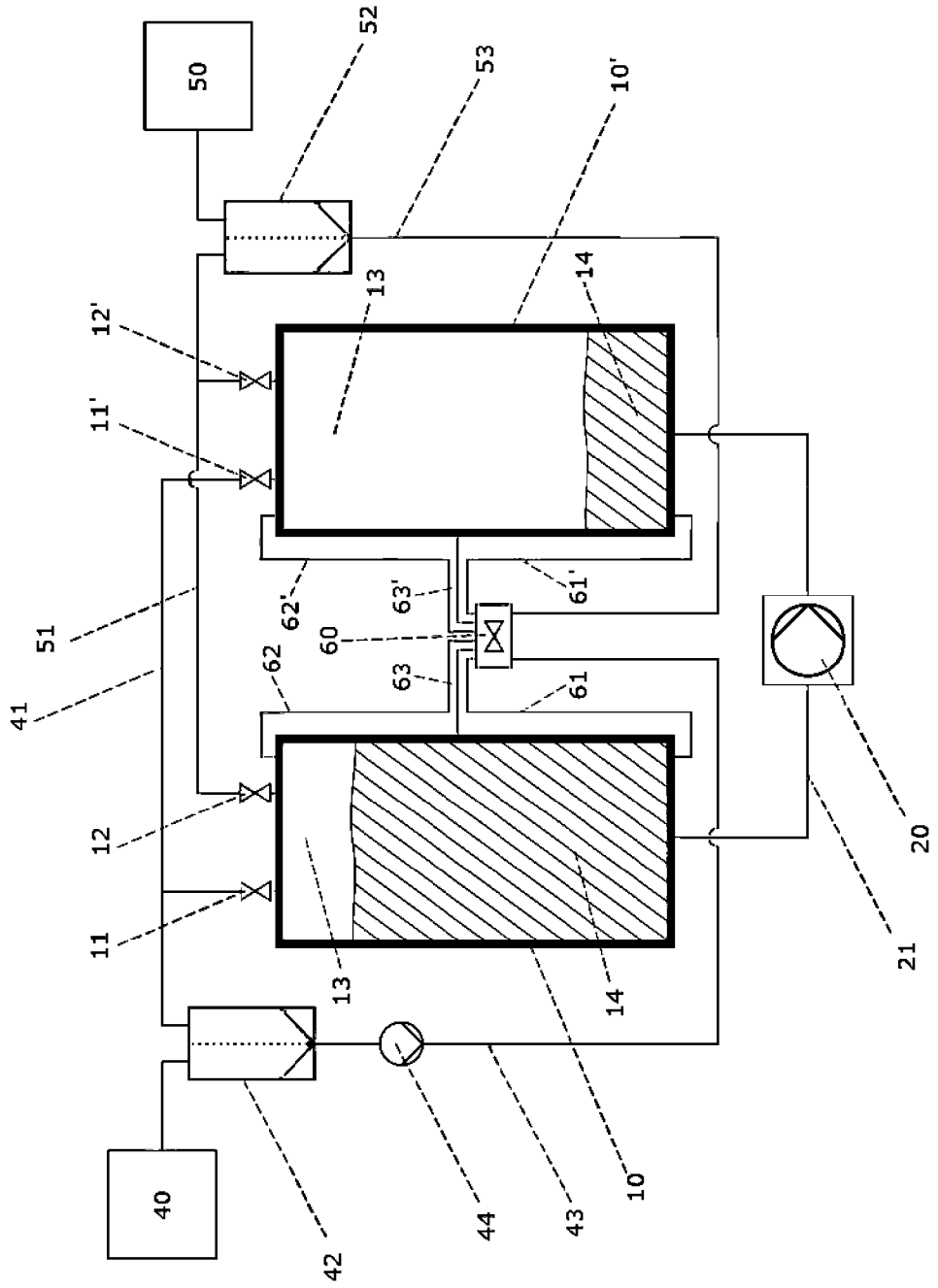


Figur 3



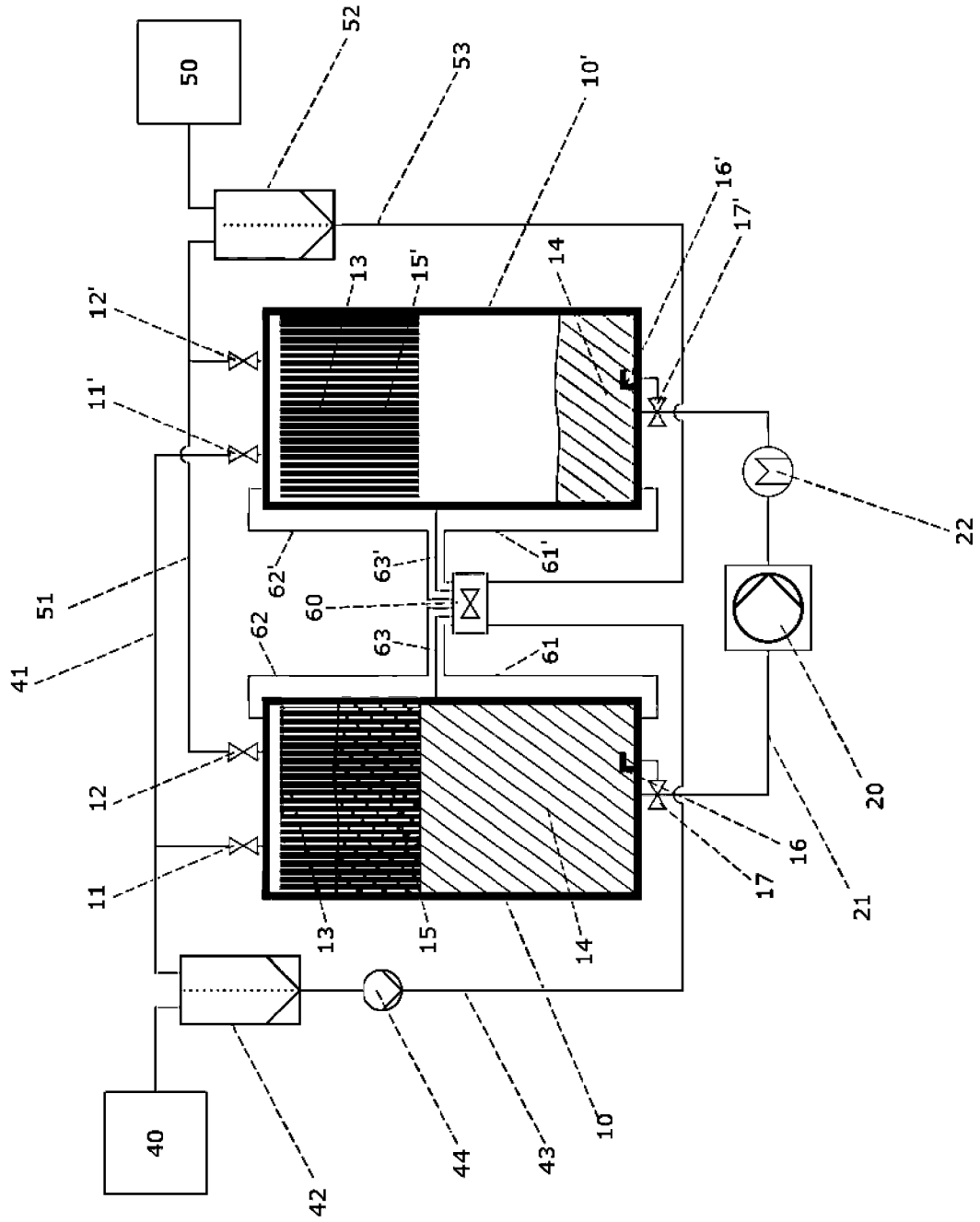
Figur 4

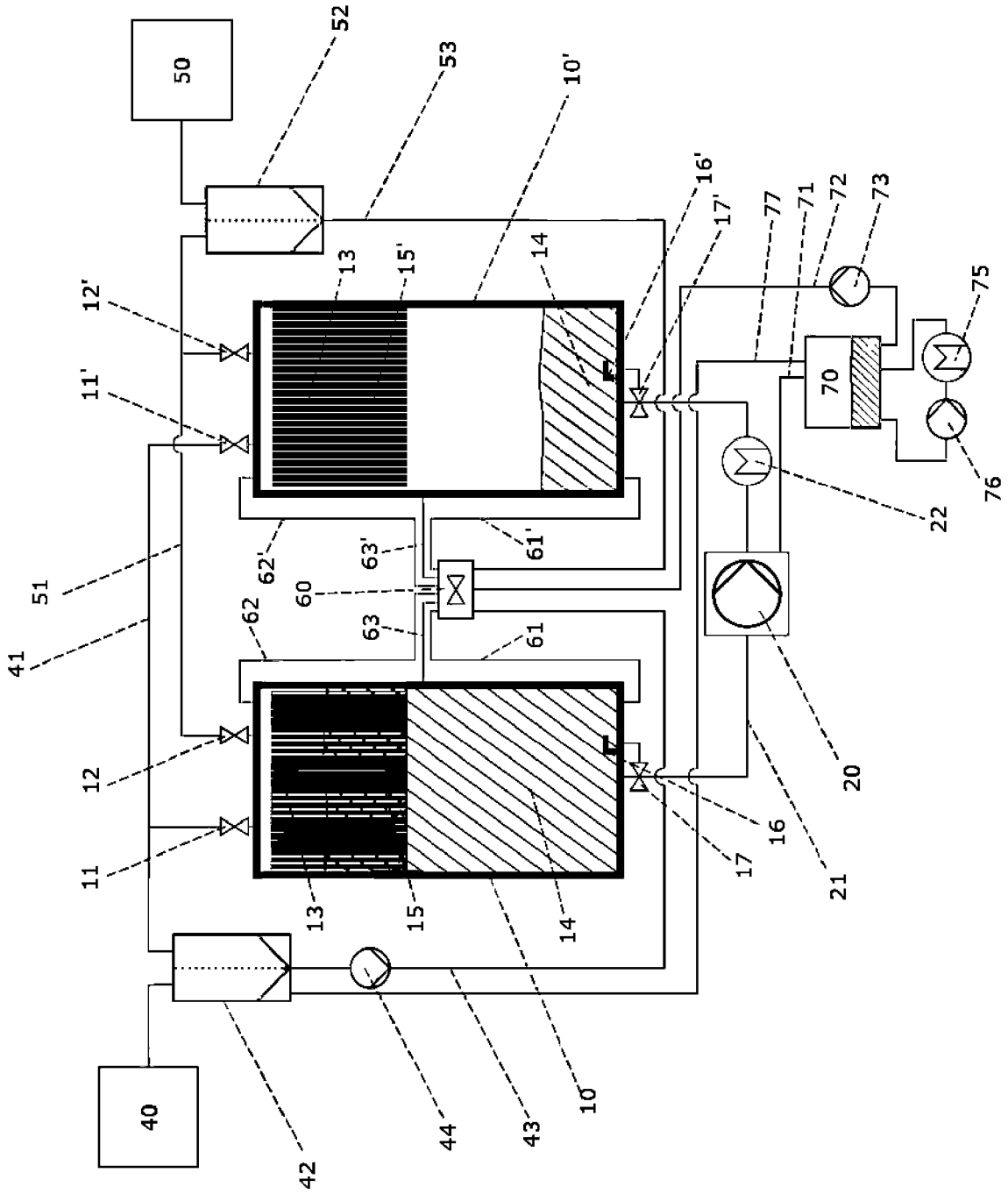




Figur 5

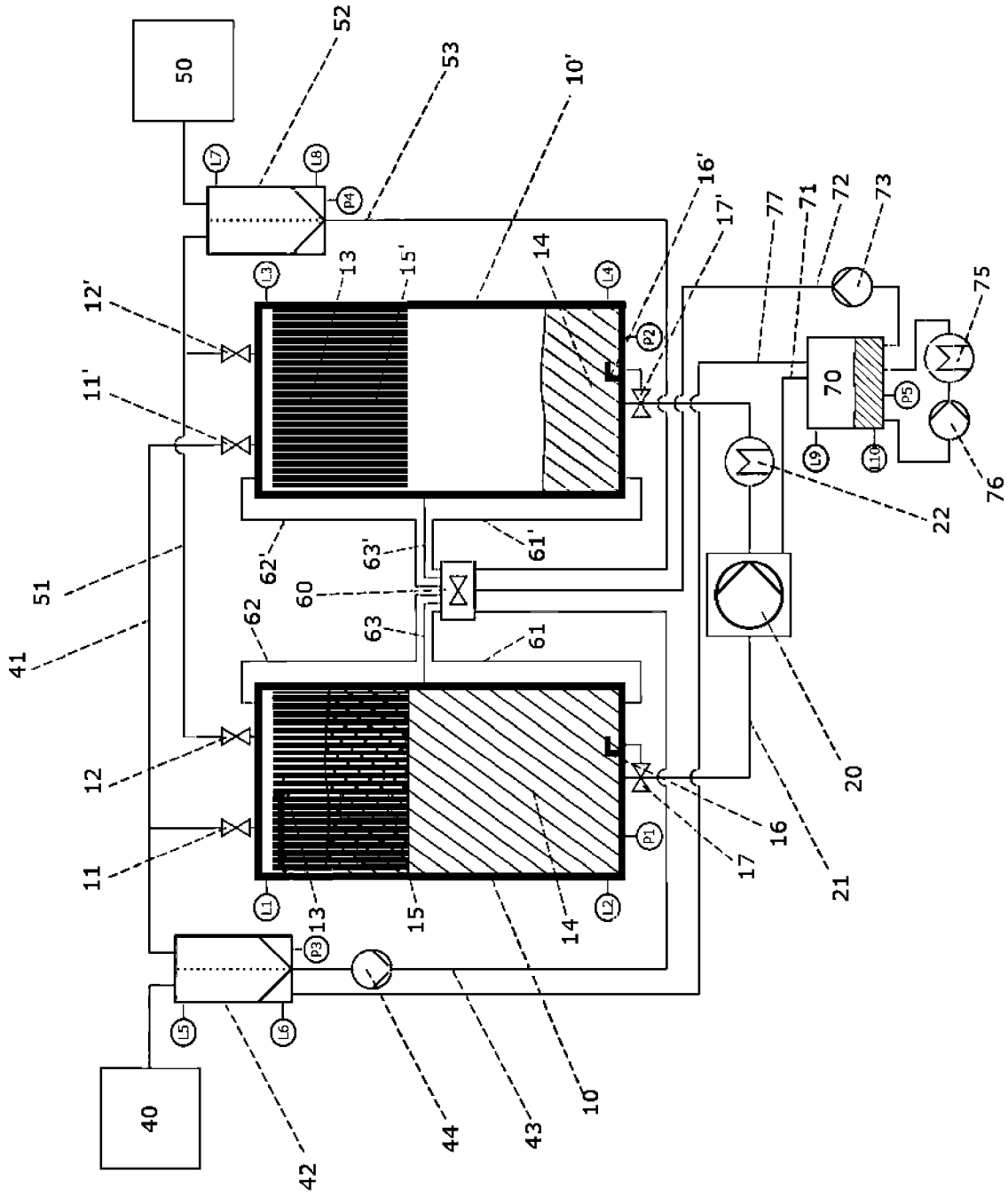
Figure 6

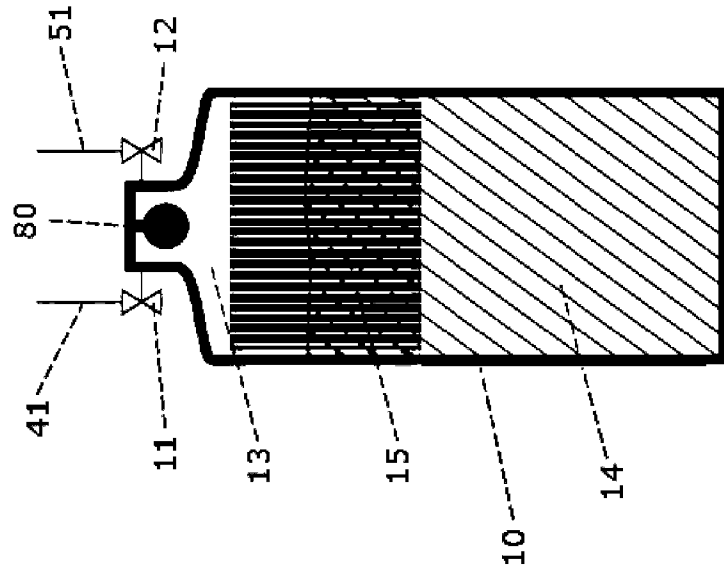




Figur 7

Figur 8





Figur 9

**VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS**

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

KENNZEICHNUNG DER NATIONALEN ANMELDUNG	AKTENZEICHEN DES ANMELDERS ODER ANWALTS gry 12/P/CH
Nationales Aktenzeichen 10452023	Anmeldedatum 22-09-2023
Anmeldeland CH	Beanspruchtes Prioritätsdatum
Anmelder (Name) Green-Y Energy AG	
Datum des Antrags auf eine Recherche Internationaler Art 13-10-2023	Nummer, die die internationale Recherchenbehörde dem Antrag auf eine Recherche internationaler Art zugeteilt hat SN84875
I. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (treffen mehrere Klassifikationssymbole zu, so sind alle anzugeben)	
Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder sowohl nach der nationalen Klassifikation als auch nach der IPC Siehe Recherchenbericht	
II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE	
Recherchierter Mindestprüfstoff	
Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole
IPC	Siehe Recherchenbericht
Recherchierte, nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen	
III. <input type="checkbox"/> EINIGE ANSPRÜCHE HABEN SICH ALS NICHT RECHERCHIERBAR ERWIESEN (Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)	
IV. <input type="checkbox"/> MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG (Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)	

Formblatt PCT/ISA 201 A (11/2000)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

		Nr. des Antrags auf Recherche CH 10452023
A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F04B39/00 F04B53/14 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F04B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X, D	DE 10 2004 046316 A1 (LINDE AG [DE]) 30. März 2006 (2006-03-30) in der Anmeldung erwähnt * Absätze [0014] - [0020]; Abbildung * -----	1-5, 10-15
A	EP 3 794 238 A1 (GREEN Y ENERGY AG [CH]) 24. März 2021 (2021-03-24) * Ansprüche; Abbildungen * -----	1-15
A	WO 2012/160311 A2 (STOREWATT [FR]; FAVY CLAUDE [FR]) 29. November 2012 (2012-11-29) * Absatz [0160]; Abbildung 9 * -----	1-15
A	WO 93/06367 A1 (GRUPPING ARNOLD [NL]) 1. April 1993 (1993-04-01) * Zusammenfassung *; Abbildungen * -----	1
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen		<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :		
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist		"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll, oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)		"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benützung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht		"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
"P" Veröffentlichung, die vor dem Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		
Datum des tatsächlichen Abschlusses der Recherche internationaler Art 13. Dezember 2023	Absenddatum des Berichts über die Recherche internationaler Art	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Pinna, Stefano	

2

CH 721 148 A1

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 10452023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102004046316 A1	30-03-2006	AT E530772 T1	15-11-2011
		AU 2005289219 A1	06-04-2006
		CA 2581280 A1	06-04-2006
		CN 101023272 A	22-08-2007
		DE 102004046316 A1	30-03-2006
		EP 1792087 A1	06-06-2007
		JP 4986161 B2	25-07-2012
		JP 2008514844 A	08-05-2008
		KR 20070057813 A	07-06-2007
		US 2007258828 A1	08-11-2007
		WO 2006034748 A1	06-04-2006
		ZA 200702362 B	27-08-2008
		EP 3794238 A1	24-03-2021
CN 112424482 A	26-02-2021		
DK 3794238 T3	04-04-2022		
EP 3794238 A1	24-03-2021		
ES 2911330 T3	18-05-2022		
PL 3794238 T3	20-06-2022		
US 11081904 B1	03-08-2021		
WO 2019219801 A1	21-11-2019		
WO 2012160311 A2	29-11-2012		
		EP 2715093 A2	09-04-2014
		JP 2014515339 A	30-06-2014
		US 2014091574 A1	03-04-2014
		WO 2012160311 A2	29-11-2012
WO 9306367 A1	01-04-1993	NL 9101618 A	16-04-1993
		WO 9306367 A1	01-04-1993